

Zur Rolle der wahrgenommenen Objektgröße  
beim Heben von Objekten –  
eine experimentelle Untersuchung  
zur Größengewichtstäuschung

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der  
Universität Duisburg-Essen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation

von

Frank Paul Schulte

aus

Gelsenkirchen

1. Gutachter: Prof. Dr. phil. nat. Edgar Heineken
  2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Matthias Brand
- Tag der mündlichen Prüfung: 27. April 2010



Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. Edgar Heineken, der mich einen langen Weg begleitet hat, und meinem Zweitgutachter, Prof. Dr. Matthias Brand. Auch gilt mein Dank Ivonne Fleischer, M.Sc., Franziska Labrenz, M.Sc. und Jan Oppermann, M.Sc. die mich bei der Datenerhebung unterstützt haben.

Für Simone, Luzia und Lehar. Für Gerd, Mariele und Andreas.

"But if we take a close and accurate view of things, it must be acknowledged that we never see and feel one and the same object. That which is seen is one thing, and that which is felt is another." (Berkeley, 1709)

"It is possible [...] that size information is a fundamental, rather than simply intriguing, aspect to heaviness perception." (Kawai, Henigman, MacKenzie, Kuang & Faust, 2007)



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Die Größengewichtstäuschung – ein intermodales Täuschungsphänomen .....</b>	<b>9</b>
1.1 Die Wahrnehmung von Gewicht.....	12
1.2 Determinanten der Größengewichtstäuschung.....	15
1.2.1 Vorwissen und Erwartungen .....	18
1.2.2 Physikalische Größen- und Gewichtseigenschaften des Objekts.....	24
1.2.3 Informationsintegration.....	29
1.2.4 Synchronisation von Gewichts- und Größeninformation.....	36
<b>2 Experimentelle Untersuchung zur Rolle der visuell und der haptisch wahrgenommenen Objektgröße bei der Größengewichtstäuschung .....</b>	<b>47</b>
2.1 Methode .....	55
2.1.1 Versuchsteilnehmer .....	55
2.1.2 Versuchsmaterial.....	55
2.1.3 Versuchsablauf.....	63
2.1.4 Versuchsplan .....	66
2.2 Ergebnisse .....	68
2.3 Diskussion .....	94
<b>3 Synopsis.....</b>	<b>103</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>112</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>124</b>

Hinweis: Der Autor ist sich der Genderproblematik in wissenschaftlichen Texten bewusst und weist darauf hin, dass alle Aussagen, unabhängig vom im Text gewählten Geschlecht, für beide Geschlechter gelten.

## **Zusammenfassung**

Wenn zwei Objekte gleichen Gewichtes aber unterschiedlicher Größe gehoben werden, so erscheint das kleinere Objekt schwerer als das größere. In dieser seit über 200 Jahren bekannten Größengewichtstäuschung drückt sich die intersensorielle Integration von Information über Objektgewicht und Objektgröße aus. Als Determinanten dieser Täuschung sind neben verschiedenen Attributen der Objekte insbesondere die zeitliche Kontiguität der Darbietung der Gewichts- und Größeninformation von Bedeutung, darüber hinaus wird auf die Bedeutung von Vorwissen und Erwartungen für das Zustandekommen der Täuschung hingewiesen. Diskutiert wird bis zum heutigen Tage die Rolle der sensorischen Modalität, in der die Größeninformation vermittelt wird. Einige Autoren berichten von einem Modalitätseffekt, nach dem das Täuschungsphänomen in vollem Umfang nur bei haptischer Vermittlung der Information über die Objektgröße auftritt, obgleich eine ausschließlich visuell induzierte Täuschung bekannt ist. Die Aufklärung dieser Diskrepanz ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

In einem mehrfaktoriellen Experiment mit insgesamt 40 Probanden, in dem die Information über die Größe der dargebotenen, unterschiedlich schweren Objekte visuell und/oder haptisch vermittelt wird, kann der Modalitätseffekt als Ausdruck eines Artefaktes nachgewiesen werden. Hierzu werden einige der kugelförmigen Vergleichsobjekte so gestaltet, dass die Größenverhältnisse zwischen kleinerem und größerem Vergleichsobjekt bei ihrer Darbietung annähernd identisch sind, wenn der Durchmesser bei visueller Darbietung und das Volumen bei haptischer Darbietung als Großenhinweisreiz herangezogen werden. Die Befunde zeigen, dass es keinen Modalitätseffekt bei der Größengewichtstäuschung gibt, wenn die wahrgenommenen Größenverhältnisse der zu vergleichenden Objekte in der jeweiliger Sinnesmodalität, in der die Information über die Größe vermittelt wird, gleich sind. Bei gleichzeitiger Darbietung von Information über die Größe der Gewichtsobjekte in verschiedenen

Modalitäten wird die Täuschung von der Größeninformation in derjenigen Modalität bestimmt, in der die Repräsentation der Größenunterschiede zwischen den Objekten am größten ist. Dieser Befund fügt sich gut in ein von Kawai, Henigman, MacKenzie, Kuang und Faust (2007) vorgestelltes konzeptuelles Modell der Gewichtswahrnehmung ein, in dem nicht die physikalischen Größenmerkmale sondern die sensorischen Größencues der verglichenen Objekte für die Ausbildung der Größengewichtstäuschung entscheidend sind.



## Zusammenfassung in englischer Sprache

When two objects of equal weight but different sizes are lifted, the smaller object is perceived as heavier than the larger object. This size-weight illusion, which is known for over 200 years, is the result of an intersensory integration of information about the object's size and the object's weight. Determining factors of this illusion are – besides different attributes of the objects themselves – the temporal contiguity of the presentation of size and of weight information; prior knowledge and expectations might also play a role. Still discussed is the role of the sensory modality in which the size information is presented: Some authors report a modality effect according to which the illusion only occurs to its full extent when haptic size information is presented. However, it is also known that the illusion does also occur when only visual size information is available. The topic of this thesis is to settle this dispute.

The results of a multifactorial experiment in which 40 persons participated and in which visual and/or haptic size information about objects of different weight was presented to them are reported. They indicate that the modality effect is an artefact: When designing spherical objects in a way that the size-relation between larger and smaller objects is nearly identical when using the objects' diameter as visual size cue or when using the objects' volume as haptic size cue, the modality effect vanishes when the size-relation in the respective modalities is perceived as being identical. When the objects' sizes are perceived in both modalities, the size-weight illusion is determined by size information in the modality in which the larger size difference between the two objects is perceived. This finding fits into the conceptual model of weight perception by Kawai, Henigman, MacKenzie, Kuang and Faust (2007), according to which the sensory size cues of compared objects are relevant for the size-weight illusion and not the physical size attributes of the objects.



## 1 Die Größengewichtstäuschung – ein intermodales Täuschungsphänomen

Wenn zwei Objekte gleichen Gewichtes aber unterschiedlicher Größe gehoben werden, so erscheint das kleinere Objekt schwerer als das größere – es kommt zur *Größengewichtstäuschung* (Abbildung 1). Am Ende des 19. Jahrhundert wurde zum ersten Mal berichtet, dass die Wahrnehmung der Objektgröße einen solchen substantiellen Einfluss auf die Wahrnehmung des Objektgewichtes hat. Seit diesem Zeitpunkt gilt die Größengewichtstäuschung als ein Phänomen, das jede umfassende Theorie der Gewichtswahrnehmung erklären muss: „The [...] well-known discovery of the size-weight illusion in the late 19th century [...] has presented the most formidable obstacle to the development of an adequate theory of weight perception“ (Amazeen & Turvey, 1996, S. 213).

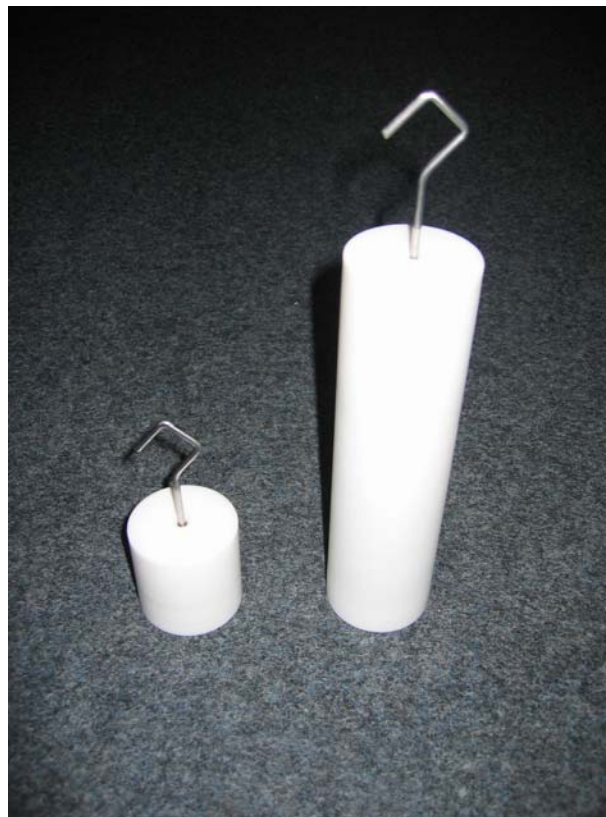


Abbildung 1: Wenn zwei gleich schwere aber unterschiedlich große Objekte wie die im Bild gezeigten Zylinder gehoben werden, so erscheint das kleinere Objekt als schwerer – es kommt zur Größengewichtstäuschung (Stimuluspaar aus Heineken & Schulte, 2007a, 2007b).

Hierbei ist zu bedenken, dass das Gewicht zahlreicher Alltagsobjekte in unserem Gedächtnis gespeichert und abrufbar ist. Für die eigentliche Gewichtswahrnehmung muss ein Objekt jedoch gehoben werden, um über die Innervation der am Hebevorgang beteiligten Muskeln und Hautpartien zu einem Gewichtseindruck zu führen. Diese Gewichtsinformation könnte dann genutzt werden, um das Objekt zunächst mit einer geringen Muskelkraft anzuheben und diese dann sukzessiv zu steigern, bis das Objekt gehoben wurde. Wenn ein Objekt schnell gehoben werden soll, wäre dieses Verfahren jedoch sehr zeitaufwändig und ist daher im Besonderen für die Erklärung schnellen Zugreifens und Hebens nicht geeignet – man denke nur an das Fangen von Objekten (Abbildung 2). Es ist daher davon auszugehen, dass die Erklärung der Größengewichtstäuschung im Speziellen und der Gewichtswahrnehmung im Allgemeinen alleine durch die Aktivierung von Muskelfasern zu kurz greift.



Abbildung 2: Das Manipulieren von unterschiedlich großen und unterschiedlich schweren Objekten ist häufig eine extrem schnelle Handlung und gelingt dabei durchaus auch unter widrigen Umständen, wie beispielsweise beim Fangen von Objekten. Dies lässt Erklärungen, die alleine auf die Innervation der beteiligten Muskeln als Informationsquellen für den Gewichtseindruck setzen, nicht ausreichend erscheinen (Foto: [www.thies-bielenberg.de](http://www.thies-bielenberg.de)).

Schon 1891 beschäftigte sich Augustin Carpentier (1891), ein französischer Physiologe, auf experimentellem Wege mit der Größengewichtstäuschung; seine Befunde wurden schnell bestätigt und erweitert (Flournoy, 1894; vgl. auch Gilbert, 1894; Seashore, 1895). Bei der Erklärung der Größengewichtstäuschung werden dabei häufig grob zwei theoretische Ansätze unterschieden. So gibt es auf der einen Seite Ansätze, die von einer eher Top-Down-orientierten, wissensgesteuerten Verarbeitung der Gewichtsinformation ausgehen, während andere Theorien annehmen, dass die Größengewichtstäuschung eher wahrnehmungsgesteuert (also Bottom-Up) zustande kommt (vgl. Scripture, 1897; Claparède, 1902; Ellis & Lederman, 1998). Keine der Theorien, die im Laufe der Zeit zur Erklärung der Größengewichtstäuschung aufgestellt wurden, kann jedoch den Anspruch erheben, alle berichteten Befunde zu erklären. Darüber hinaus widersprechen sie sich zum Teil deutlich, und die Diskussion, welche Theorie die richtige sei, wurde nicht selten mit Verve geführt. So schreiben etwa Müller und Schumann (1889) Folgendes als Antwort auf die Vermutung, die Grundlage für die Größengewichtstäuschung könnten Kontrasteffekte sein:

Vielleicht ist der eine oder der andere der Ansicht geneigt, dass die Täuschungen, die wir durch Einstellung der motorischen Impulse erklären, einfach als Wirkungen des Contrastes aufzufassen seien. [...] Wir lassen es ganz dahingestellt, ob überhaupt in der Heranziehung des Ausdrucks „Contrastwirkung“ hier etwas einer Erklärung der betreffenden Erscheinungen Ähnliches gegeben sein würde. Es genügt, darauf hinzuweisen, daß die Sache keineswegs so platonisch verläuft und keineswegs sich so ausschließlich im Bewusstsein der vergleichenden Versuchsperson abspielt, wie diese Erklärung durch sog. Contrastwirkung voraussetzt. [...] Im Uebrigen würde gegen jene Erklärung durch Contrastwirkung auch die von uns festgestellte Thatsache sprechen, dass eine Neigung, das mit dem stärkeren Impulse gehobenen Gewicht für kleiner zu halten, auch dann vorhanden ist, wenn man den Impuls für die Hebung des einen Gewichtes willkürlich stärker nimmt als für die Hebung des anderen, gleich großen, Gewichtes. (Müller & Schuman, 1889, S. 46f)

Bis zum heutigen Tag bleibt daher die Forschung zu den Determinanten der Größengewichtstäuschung als zentrales Phänomen im Feld der Gewichtswahrnehmung aktuell, wie auch Arbeiten der jüngsten Zeit zeigen (vgl. Ernst, 2009; Rabe, Brandauer, Gizewski, Timmann & Hermsdörfer, 2009; Flanagan, Bittner & Johansson, 2008; Kawai, Henigman, MacKenzie, Kuang & Faust, 2007; Streit, Shockley & Riley, 2007). Auch die vorliegende Arbeit versucht, einen Aspekt dieser intermodalen Täuschung zu beleuchten. Im folgenden Kapitel 1 wird nach einem Überblick über die Grundlagen der Gewichtswahrnehmung (in Kapitel 1.1) betrachtet, welche Faktoren die Größengewichtstäuschung determinieren und wie diese theoretisch verankert wurden (Kapitel 1.2), bevor in Kapitel 2 über die eigene Untersuchung der Rolle der Größenrepräsentation für die Größengewichtstäuschung berichtet wird.

## **1.1 Die Wahrnehmung von Gewicht**

Schon 1834 stellte Ernst Heinrich Weber die Frage, ob ein Gewichtseindruck<sup>1</sup> beim Heben eines Objektes eher vom Druck auf die Haut oder aber von der Menge der in den Muskeln benötigten Energie stammt (Weber, 1978/1834; vgl. auch Ferrier, 1886; Murray, Ellis, Bandomir & Ross, 1999). Weber konnte zeigen, dass die Präzision der Einschätzung des Gewichtes größer ist, wenn das Objekt aktiv gehoben wird, als wenn es nur auf die ruhende Handfläche gelegt wird. Eine zentrale Frage war damals auch,

---

<sup>1</sup> Im alltäglichen Sprachgebrauch werden häufig die Begriffe „Masse“ und „Gewicht“ vermischt oder gar synonym genutzt, wodurch ein Eindruck von Variabilität der Masse eines Objektes und Konstanz seines Gewichtes entsteht. Dieser Eindruck widerspricht jedoch dem in Newtons Mechanik und in der Chemie geltenden Massenerhaltungssatz: Die Masse eines Teilchens ist eine für das Teilchen charakteristische und unveränderliche Größe, die nicht mit Größen zusammenhängt, die sich ändern können (wie beispielsweise sein Ort und seine Geschwindigkeit). „Masse“ manifestiert sich durch den Widerstand, den ein Körper jeder Bewegungsänderung entgegensetzt, und die Anziehung, mit der zwei ungeladene Körper aufeinander einwirken. Widerstand ist die „Trägheit“ eines Körpers, während bei der Anziehung in extremen Fällen (wie etwa durch die Gravitation auf der Erde) der kleinere Körper „schwer“ wird. „Gewicht“ ist daher die Kraft eines Körpers in eben einem solchen Gravitationsfeld eines anderen Körpers. Die korrekten SI-Einheiten sind dann auch „Kilogramm“ für Masse, und „Newton“ für Gewicht. Ein möglicher Grund für diese sprachliche Verwechslung mag sein, dass die wenigsten Waagen, die ja Gewicht messen, dies in Newton angeben, sondern in Kilogramm. Der Autor der vorliegenden Arbeit ist sich dieser sprachlichen Problematik bewusst, wählt aber ebendiese Formulierung in Anbetracht der Tatsache, dass so gut wie alle Publikationen seit Carpentier (1891) in diesem Zusammenhang von „Gewicht“ (gemessen in Kilogramm) sprechen.

ob die Wahrnehmung von Gewicht aus der sensorischen afferenten Erregung in der Peripherie des Wahrnehmungssystems (also den Muskeln, Gelenken und der Haut) stammt, wie es etwa Bell (1826) vermutet hatte, oder ob der Gewichtseindruck vor allen Dingen ein Resultat willentlicher Handlung und der daraus resultierenden Aktivierung efferenter Nervenbahnen ist, wie Helmholtz annahm (Helmholtz 1925/1866; vgl. Murray et. al., 1999; H.E. Ross & Murray, 1996). Waller (1891) konnte zeigen, dass die Unterschiedsschwelle, also der kleinste eben noch wahrnehmbare Unterschied, am geringsten war, wenn die zum Heben notwendigen Muskeln willentlich kontrahiert werden. Wurden die Muskeln dagegen von außen durch elektrische Impulse stimuliert und so zu einem unwillentlichen Hebevorgang gezwungen, so war das Gewichts Urteil zwar präziser als wenn die Gewichte ohne einen Hebevorgang einzuschätzen waren, aber der geringste noch wahrnehmbare Unterschied war in diesem Fall deutlich größer als bei willentlichem Heben. Brodie und H.E. Ross (1984) konnten Wallers Befunde im Großen und Ganzen bestätigen. Diese Ergebnisse führten zur Annahme, dass beide Aktivierungsrichtungen eine Rolle spielen, der efferenten Aktivierung aber ein größeres Gewicht zukommt (Jones, 1986).

Zahlreiche Studien haben weitere Faktoren nachgewiesen, die die Präzision der Wahrnehmung von Gewicht beeinflussen. Die Unterschiedsschwelle nimmt mit abnehmendem Gewicht zu (Engen, 1971; vgl. auch Holway & Hurwich, 1937), oberhalb eines Objektgewichtes von 150 g bleibt sie aber relativ konstant (Victor Raj, Ingty & Devanandan, 1985). Wenn nach längerem Heben und Einschätzen von schwereren Gewichten plötzlich leichte Gewichte einzuschätzen sind, kann sich die Unterschiedsschwelle kurzzeitig erhöhen (Holway, Goldring & Zigler, 1938). Dies ist auch dann der Fall, wenn der Hebearm durch ein Gewicht künstlich belastet wird (Gregory & H.E. Ross, 1967). Brodie (1988) hat gezeigt, dass der kleinste eben noch wahrnehmbare Unterschied zwischen zwei verschieden schweren Objekten größer ist, wenn das zuerst gehobene Objekt das schwerere ist<sup>2</sup>. Ein Gewicht, das an einem

---

<sup>2</sup> Dies lässt sich gut durch die Webersche Konstante für Gewichtswahrnehmung (Weber, 1978/1834) erklären, die bei 2% für die Wahrnehmung von Gewicht liegt. Wird ein Gewicht von 1000.00 g

Finger gehoben wird, wird als schwerer wahrgenommen, wenn gleichzeitig ein weiteres, ebenso schweres oder schwereres Gewicht mit einem anderen Finger der selben Hand gehoben wird, wie Kilbreath und Gandevia (1991) belegen. Die Arbeitsgruppe um H.E. Ross (H.E. Ross, 1981; H.E. Ross und Reschke, 1982) zeigte in mehreren spektakulären Untersuchungen einen Einfluss der Schwerkraft auf die Präzision der Wahrnehmung von Gewicht: Während kürzerer Verweildauer (etwa während eines Parabel-Fluges) aber auch während längerer Aufenthalte in geänderten Schwerkraftbedingungen (etwa in einer Zentrifuge oder an Bord einer Raumstation, vgl. H.E. Ross, 1981; H.E. Ross, Brodie & Benson, 1984) wird das Gewicht von Objekten unter Mikro-Schwerkraft (weniger als 1 G) weniger präzise und auch leichter eingeschätzt als dies unter normaler Schwerkraft von 1 G der Fall ist. Unter Makro-Schwerkraft-Bedingungen (mehr als 1 G) werden die Objekte als schwerer wahrgenommen, auch hier ist die Präzision eingeschränkt. Diese Befunde zeigen, dass in erster Linie das Gewicht eines Objektes und nicht seine Masse relevant für die Wahrnehmung von Gewicht ist (vgl. Jones, 1986).

Neben seinem physikalischen Gewicht bestimmen auch andere Attribute des Objekts die Wahrnehmung seines Gewichtes. So werden beim Heben dunkle Objekte als leichter eingeschätzt als gleich schwere, aber hellere Objekte (De Camp, 1917; vgl. Payne, 1958; Payne, 1961). Ein ähnlicher Einfluss wurde auch berichtet, wenn kompakte Objekte (wie eine Kugel) und weniger kompakte Objekte (wie etwa ein Objekt in Form eines Halbmondes) gehoben werden (Dresslar, 1894). Harry Kirke Wolfe, ein Schüler von Wilhelm Wundt, zeigte, dass auch Oberflächeneigenschaften eines Objektes die Wahrnehmung des Objektgewichtes bestimmen: Körper, deren Oberfläche aus dichtem Material wie Kupfer bestehen, werden zunächst einmal als

---

gehoben, so liegt die differentielle Wahrnehmbarkeitsschwelle (also der kleinste eben noch wahrnehmbare Unterschied, der *just noticeable difference*, JND) bei 20.00 g – das nächstschwere Gewicht, das als solches wahrnehmbar wäre, ist dann 1020.00 g schwer. Soll aber das 1000 g schwere Gewicht als zweites gehoben werden, so reicht ein 1020.00 g schweres Objekt nicht mehr als das zuerst zu hebende Objekt aus, da nun die JND 20.40 g beträgt – das erste Objekt müsste mindestens 1020.40 g schwer sein, damit das folgende Objekt mit einem Gewicht von 1000.00 g als leichter wahrnehmbar ist (vgl. Kawai, 2002a).



schwerer eingeschätzt als gleich große Objekte mit einer Oberfläche aus weniger dichtem Material wie etwa Holz. Sind diese Objekte gleich schwer und werden sie gehoben, so werden die Objekte mit der Oberfläche aus dichtem Material aber als leichter wahrgenommen (Wolfe, 1898; vgl. auch Harshfield & DeHardt, 1970). Wolfe bezeichnete diesen Effekt als *Gewichts-Material-Täuschung* (vgl. Ellis & Ledermann, 1999). Eines der am häufigsten untersuchten Attribute, die einen Einfluss auf die Gewichtswahrnehmung haben, ist aber die Größe eines Objektes. Ihr Einfluss auf die Wahrnehmung des Gewichtes zeigt sich am deutlichsten in der Größengewichtstäuschung.

## **1.2 Determinanten der Größengewichtstäuschung**

Augustin Carpentier (1891; vgl. Dufour, 1916) berichtete als erster von der Größengewichtstäuschung. Er ließ seine Versuchsteilnehmer gleich schwere, aber unterschiedlich große Objekte (Kugeln mit einem Gewicht von 266 g und einem Durchmesser von 40 mm und 100 mm) hinsichtlich ihres Gewichtes beurteilen. Die kleineren Objekte wurden durchgängig als schwerer eingeschätzt als die größeren Objekte (vgl. auch Usnadze, 1931; Krech, Crutchfield & Livson, 1974). Carpentier hat die Größengewichtstäuschung auf mehrere Faktoren zurückgeführt: Zunächst einmal vermutete er, dass sowohl das Ausmaß der auf die Haut ausgeübten Druckenergie, als auch die Menge der für das Heben zur Verfügung stehenden Muskelenergie („*le'énergie motrice*“) das Phänomen bestimmen. Daneben nahm er aber auch das Vorhandensein von Vorwissen an, um das Täuschungsphänomen zu erklären. Murray et al. (1999) schreiben dazu:

Carpentier claimed that the illusion could be explained if the subject had "preliminary ideas" about the heaviness based on previous experience. He went on to ask: "But is not such an idea itself a motor phenomenon, a cerebral effort, positive or negative as the case may be?" [...] If these "preliminary ideas" were simple subcategories of "feeling of mental effort", the perception of heaviness would depend on only two kinds of feelings: those of the pressure on the skin and those of cerebral effort. (Murray et al., 1999, S. 1683)

Flournoy (1894) bestätigte die Befunde Carpentiers in Experimenten mit einer größeren Stichprobe. Er verwendete in seinen Experimenten Objekte gleichen Gewichtes verschiedener Größe und verschiedener Form. Carpentier und Flournoy haben mit ihren Experimenten gezeigt, dass das subjektiv wahrgenommene Gewicht eines Objektes nicht nur von seinem objektiven Gewicht bestimmt ist, sondern auch von seiner wahrgenommenen Größe<sup>3</sup>.

In der Folge von Carpentiers und Flournoys Entdeckung und Beschreibung der Größengewichtstäuschung bemühten sich eine ganze Reihe von Forschern, das Täuschungsphänomens zu beschreiben und zu erklären. Eine Erklärung der Größengewichtstäuschung lieferte Thouless (1931, vgl. auch Huang, 1945; J. Ross und Di Lollo, 1970). Seiner Meinung nach wird das Gewicht eines Objektes nicht direkt wahrgenommen, sondern einzig über die Wahrnehmung seiner Dichte kognitiv erschlossen. Schnell zeigte sich jedoch, dass die Dichte alleine nicht ausreicht, um alle Phänomene der Gewichtswahrnehmung und das Täuschungsphänomen zu erklären; Ellis und Lederman (1998) konstatieren, dass „unfortunately, although an object’s density [...] is undoubtedly involved, this concept of density constancy does not explain any of the underlying mechanism responsible“ (Ellis & Lederman, 1998, S. 154). Sie argumentieren, dass die Gewichtswahrnehmung unterschiedlich schwerer Objekte gleicher Dichte zu genau ist. Darüber hinaus betonen sie, dass zumindest unter normalen Schwerkraft-Bedingungen in der Regel die Dichte eines Objektes zwar mit seinem Gewicht in einem Zusammenhang steht, die Annahme eines Dichte-Konstanz-Phänomens alleine die Größengewichtstäuschung nicht erklären kann. So haben Stevens und Rubin (1970) gezeigt, dass bei konstanter Dichte das wahrgenommene Gewicht eines Objektes nicht in Form einer einfachen Potenzfunktion des physikalischen Gewichtes dieses Objektes zunimmt, was aber auf

---

<sup>3</sup> Laut Murray et al. (1999) war Carpentier tatsächlich der erste, der sich wissenschaftlich der Größengewichtstäuschung genähert hat: Weber beispielsweise erwähnt das Phänomen in seinen Publikationen zwar, aber versuchte nicht, es wissenschaftlich zu beschreiben oder gar zu erklären. Aus diesem Grund wird die Größengewichtstäuschung auch *Carpentier-Täuschung* genannt.

Basis Thouless' Annahme zu erwarten wäre. Auch Anderson (1970a) kommt in seiner Analyse zu dem Schluss, dass eine Theorie auf Basis der Dichte der Objekte die Größengewichtstäuschung nicht erklärt.

Bis heute wird der Frage nachgegangen, wie Information über das wahrgenommene Objektgewicht und die wahrgenommene Objektgröße zu einem Gewichtseindruck zusammengeführt wird und es zur Größengewichtstäuschung kommt. Für ein grundlegendes Verständnis sind dabei die Grundlagenarbeiten zur Gewichtswahrnehmung zu beachten, denn noch ist nicht abschließend geklärt, wie Gewicht unabhängig von der Objektgröße wahrgenommen wird. Daher werden beispielsweise die Effekte interindividueller Unterschiede in Bezug auf die maximal vom Organismus aufwendbare Körperkraft (vgl. Teghtsoonian, Teghtsoonian & Karlsson, 1981; Borg, Olson, Borg & Neely, 1996) untersucht, und der Einfluss intraindividueller Leistungsunterschiede auf die Gewichtseinschätzung und damit auch auf das Größengewichtstäuschungsphänomen untersucht, indem beispielsweise der Erschöpfungsgrad der am Abwägevorgang beteiligten Muskeln experimentell variiert wird (vgl. Jones & Hunter, 1983). Auch der Einfluss neurologischer Störungen auf die Gewichtswahrnehmung wird in diesem Zusammenhang untersucht (Holmes, 1917; Gandevia & McCloskey, 1977a, Rabe et al., 2009), ebenso der Einfluss von temporärer Anästhesierung oder Curarisierung der Fingermuskulatur (Gandevia & McCloskey, 1977b). Auch die neuronalen und neurophysiologischen Grundlagen der Gewichtswahrnehmung und der intermodalen Beeinflussung sind Thema (vg. Calvert, 2001; Shimojo & Shams, 2001; Goodale, 1994).

Im Folgenden wird über die Arbeiten berichtet, die das Phänomen der Größengewichtstäuschung im Fokus haben. So spielt das Vorwissen bei der Entstehung des Größengewichtstäuschungsphänomens offenbar eine Rolle, denn schon in den ersten experimentellen Arbeiten zeigte sich, dass die aus dem Vorwissen resultierenden Erwartungen über das Gewicht eines Objektes die Größengewichtstäuschung bestimmen. Dieser Zusammenhang wird in Abschnitt 1.2.1 erörtert. Von

starkem Einfluss auf die Größengewichtstäuschung sind auch die physikalische Größen- und Gewichtseigenschaften des Vergleichsobjektes (wie etwa Größe und Gewicht, aber auch die Masseverteilung), wie in Kapitel 1.2.2 gezeigt wird. Steht Information über das Objektgewicht und die Objektgröße zur Verfügung, so muss diese zu einem Perzept des Objektes zusammengefügt werden – mit diesem Prozess der Informationsintegration bei der Größengewichtstäuschung beschäftigt sich Kapitel 1.2.3. Dass dieser Informationsintegrationsprozess im Rahmen der Größengewichtstäuschung nur gelingt, wenn optimale raum-zeitliche Bedingungen vorliegen, zeigen auch Befunde, die in virtuellen Umgebungen gemacht wurden. Wie im abschließenden Kapitel 1.2.4 geschildert, zeigt sich dort das Täuschungsphänomen nicht oder nur in abgeschwächter Form, wenn es aufgrund der Art der virtuellen Umgebung den Versuchsteilnehmern nicht oder nur schlecht gelingt, die Information in den verschiedenen Modalitäten zu synchronisieren und einzig einem Objekt zuzuordnen.

### **1.2.1 Vorwissen und Erwartungen**

Dass Wissen die Erwartungen lenkt, ist Grundlage der Erwartungstheorie, mit der J. Ross das Entstehen der Größengewichtstäuschung erklärt (J. Ross, 1969; vgl. auch Loomis, 1907; H.E. Ross & Gregory, 1970). Ross anästhesierte die Druckrezeptoren in den Händen seiner Versuchspersonen, um auf diesem Wege die afferenten Erregungen aus den Druckrezeptoren beim Heben von Objekten zu unterbinden. Er stellte fest, dass dennoch die Größengewichtstäuschung auftrat. Allgemeine Erfahrungen im Umgang mit Objekten lassen den Betrachter eines konkreten Objektes erwarten, dass kleine Objekte eher leichter, und große Objekte eher schwerer sind. Aus der Sicht von J. Ross bestehen hohe Korrelationen zwischen Volumen und Gewicht von Alltagsobjekten, wenn diese ähnlich solide oder hohl und dabei aus demselben oder zumindest einem ähnlichen Material sind, wobei es selbstverständlich Objekte gibt, auf die dies nicht zutrifft (etwa große Objekte aus Bimsstein, die in Bezug auf ihr Volumen überraschend leicht sind, oder kleine Objekte aus Eiche oder Granit, die überraschend schwer sind), bei denen es sich dann aber um

Ausnahmen von der Regel handelt. Die Volumen-Gewichts-Korrelationen sind nach Meinung von J. Ross gelernt und führen zu einem Set beim Betrachter, der aus der Größe des Objektes Rückschlüsse auf sein Gewicht zieht. Durch diesen wissensbasierten Prozess erklärt J. Ross die Größengewichtstäuschung: Wenn der Betrachter ein Objekt als groß wahrnimmt, dann erwartet er ein höheres Gewicht, und an dieser Erwartung ist dann die Kraft orientiert, die er beim Anheben des Objektes einsetzt. Diese eingesetzte Energiemenge ist dann aber zu groß und wird dazu führen, dass das Objekt schneller als erwartet gehoben werden kann. Dies wiederum führt zum Eindruck, dass es sich um ein leichteres Objekt handelt.

Davids und Roberts (1976) berichten dazu passend, dass der Hebevorgang bei den größeren Objekten zunächst schneller und mit mehr Kraft von statten geht als bei gleich schweren aber kleineren Objekten. Auch die mit Hilfe des EMG gemessene Muskelanspannung in der Vorbereitungsphase vor dem Hebevorgang ist größer, wenn es sich um die vergleichsweise größeren Objekte handelt, die gehoben werden sollen (Davids & Brickett, 1977). Gordon, Forssberg, Johansson & Westling (1991) konnten zeigen, dass Betrachter beim Heben kleinerer Objekte zunächst einmal auch weniger Kraft aufwenden als beim Heben größerer Objekte, indem sie die Kraft maßen, mit der Versuchspersonen die Objekte ergriffen. Sie konnten so belegen, dass die Griffkraft erst nach einem Feedback über das Gewicht des gehobenen Objektes an das faktische Gewicht angepasst wird; die Täuschung wird auch von ihnen als Resultat der Differenz zwischen erwartetem und wahrgenommenem Gewicht gesehen.

Während die Erwartungstheorie den Zeitpunkt der Entstehung der Größengewichtstäuschung in dem Zeitraum vor dem Hebevorgang sieht, da dann die Erwartung formuliert wird, vermuten Mon-Williams und Murray (2000) die Ursache für das Täuschungsphänomen eher später, im Moment des Anhebens des Objektes. Sie induzierten die Größengewichtstäuschung bei ihren Versuchsteilnehmern, indem sie diese wiederholt verschiedene Zylinder gleicher Größe und unterschiedlichen

Gewichtes heben ließen, die an einem Kraftmessgerät angebracht waren. Dabei registrierten sie die Kraft zum Halten („grip force“) sowie zum Heben („load force“) der Zylinder, die von ihren Versuchspersonen während des Hebevorganges eingesetzt wurde. Sie stellten zwar fest, dass zu Beginn des Hebevorgangs mehr Kraft für das Heben der kleineren Zylinder aufgewandt wurde; dieser Effekt verschwand jedoch nach fünf bis zehn Hebevorgängen. Wenn die Größengewichtstäuschung tatsächlich auf die eingesetzte Kraft zurückzuführen wäre, hätte sie ebenfalls verschwinden müssen. Mon-Williams und Murray (2000) ebenso wie andere Autoren der s.g. „Rationalization“-Theorie (vgl. Flanagan & Beltzner, 2000; Flanagan, King, Wolpert & Johansson, 2001) stellten fest, dass dies nicht der Fall war. Sie führen dies darauf zurück, dass die Täuschung durch das Formulieren von Erklärungen reguliert wird, mit deren Hilfe die Versuchsteilnehmer die Diskrepanz zwischen erwartetem Gewicht und wahrgenommener notwendiger Kraft zum Heben des Gewichtes im Nachhinein erklären:

Our results showed that the size-weight-illusion is primarily a cognitive-based phenomenon and arises because participants : (1) are aware that the objects are of the same weight; and (2) attempt to rationalize (at a cognitive level) the discrepancy between their expectation that a larger object should feel heavier and the actual sensory feedback. (Mon-Williams & Murray, 2000, S. 409)

Auch zeigt sich, dass Versuchspersonen lernen können, der Größengewichtstäuschung nicht mehr zu erliegen. Flanagan et al. (2008) ließen ihre Versuchspersonen bis zu dreißig Tage lang täglich über längere Zeit Objekte manipulieren, deren Gewichte in umgekehrter Relation zu ihrer Größe standen. Sie untersuchten, ob es während dieser Zeit zu Lernprozessen kommt, und ob das erworbene Wissen das Ausmaß des Täuschungsphänomens beeinflusst. Dabei maßen sie die Kräfte, die zum Heben der Objekte eingesetzt wurden. Sie konnten zeigen, dass es nicht nur möglich ist, die Größengewichtstäuschung zu verlernen, sondern sogar einem umgekehrten Täuschungsphänomen zu erliegen, bei dem die kleineren Objekte als leichter beurteilt werden. Sie schließen daraus, dass die Grundlage für die

Täuschung gelernte Größen-Gewichts-Verhältnis-Information ist, die mit entsprechendem Lernaufwand geändert und gar ins Gegenteil umgekehrt werden kann: „We demonstrate that multiday practice in lifting a set of blocks whose color and texture are the same and whose weights vary inversely with volume gradually attenuates and ultimately inverts the size-weight illusion tested with similar blocks. [...] Therefore, this expectation, which applies to virtually all families of objects, neither is hard-wired nor becomes crystallized during development.“ (Flanagan et al., 2008, S. 1742 ff).

Im Übrigen unterstützen auch Erklärungen anderer Täuschungsphänomene die Annahme, dass die Größengewichtstäuschung (und damit vermutlich auch die Gewichtswahrnehmung) maßgeblich vom Vorwissen und von Erwartungen beeinflusst wird. Ein sehr eindrückliches Beispiel ist die *Golfballtäuschung*, von der Ellis und Lederman (1998) berichten. Sie ließen acht Golfspieler und acht Personen, die kein Golf spielten, unterschiedlich schwere Golfbälle hinsichtlich ihres Gewichtes einschätzen. Die Besonderheit ihrer Anordnung war, dass sie sowohl „normale“ Turnierbälle als auch vermeintliche Trainingsbälle einschätzen ließen. Trainingsbälle sind normalerweise deutlich leichter als Turnierbälle (7 g im Gegensatz zu 45 g), der visuelle Unterschied zwischen beiden Ballarten ist jedoch minimal und ohne besondere Hinweise nur für geübte Golfspieler erkennbar. Es stellte sich heraus, dass die golfspielenden Versuchsteilnehmer Bälle, die wie Trainingsbälle aussahen aber ebenso schwer waren wie normale Turnierbälle, beim Heben als schwerer beurteilten als die objektiv gleich schweren Bälle, die sie als Turnierbälle identifizierten. Dieser Täuschungseffekt blieb bei den Nicht-Golfern erwartungsgemäß aus.

Auch wenn die geschilderten Befunde zeigen, dass Vorwissen und die daraus resultierenden Erwartungen und Rationalisierungen die Größengewichtstäuschung bestimmen, lässt sich dennoch die Größengewichtstäuschung durch derartige höhere kognitive Prozesse nicht hinreichend erklären. Selbst Ellis und Lederman, die mit ihrem Experiment zur Golfballtäuschung die Beteiligung höherer kognitiver Prozesse

an der Gewichtswahrnehmung demonstriert haben, melden nicht zuletzt aufgrund ihrer alltäglichen Erfahrungen als Forscher auf dem Gebiet der Gewichtswahrnehmung Zweifel an rein wissensbasierten Erklärungen an:

The size-weight illusion, at least, is not cognitively penetrable. [...] As researchers who have handled size-weight stimuli for many years, we can attest to this fact. Despite knowledge that the stimuli share a common weight (we have had to weight them on scales many times), our perspective of their weight difference has not altered. (Ellis & Lederman, 1998, S. 195)

Aber auch die Erkenntnisse von Flournoy (1894) ließen schon früh eine rein wissensbasierte Erklärung des Täuschungsphänomens zweifelhaft erscheinen. Er ließ seine Versuchsteilnehmer verschieden große und verschieden geformte, aber gleich schwere Objekte hinsichtlich ihres Gewichtes einschätzen und zeigte, dass die Täuschung auch dann bestehen blieb, wenn die Versuchsteilnehmer explizit darauf hingewiesen wurden, dass die Gewichte faktisch gleich schwer waren (vgl. Nicholas, 1998; Murray et. al., 1999). Und in Erwiderung auf Flanagan et al. (2008) schreibt Ernst (2009):

In conclusion, despite over 100 years of research in which the size-weight illusion has been well described and characterized, we still lack a good explanation of why the illusion occurs – saying it occurs because the expectation is not matched and thus we perceive a contrast is only a description of the effect, and not an explanation. (Ernst, 2009, R24)

Sehr eindringlich demonstriert die experimentelle Untersuchung von Masin und Crestoni aus dem Jahr 1988, dass Vorwissen und Erwartungen offenbar alleine nicht für die Erklärung der Größengewichtstäuschung ausreichen. Masin und Crestoni ließen ihre Versuchsteilnehmer das Gewicht verschieden großer Objekte einschätzen. Dabei nahmen die Versuchsteilnehmer die Objekte nicht in die Hand, sondern hoben sie mit Hilfe eines Seiles, welches über eine Umlenkrolle mit einer Kiste verbunden war, in der sich die einzuschätzenden Objekte befanden. Eine Tür in der Seitenwand



der Kiste konnte geöffnet werden, um so den Blick auf die zu hebenden Objekte zu gestatten. Masin und Crestoni modifizierten in experimenteller Weise, ob und wann während des Abwägevorganges diese Tür geöffnet war.

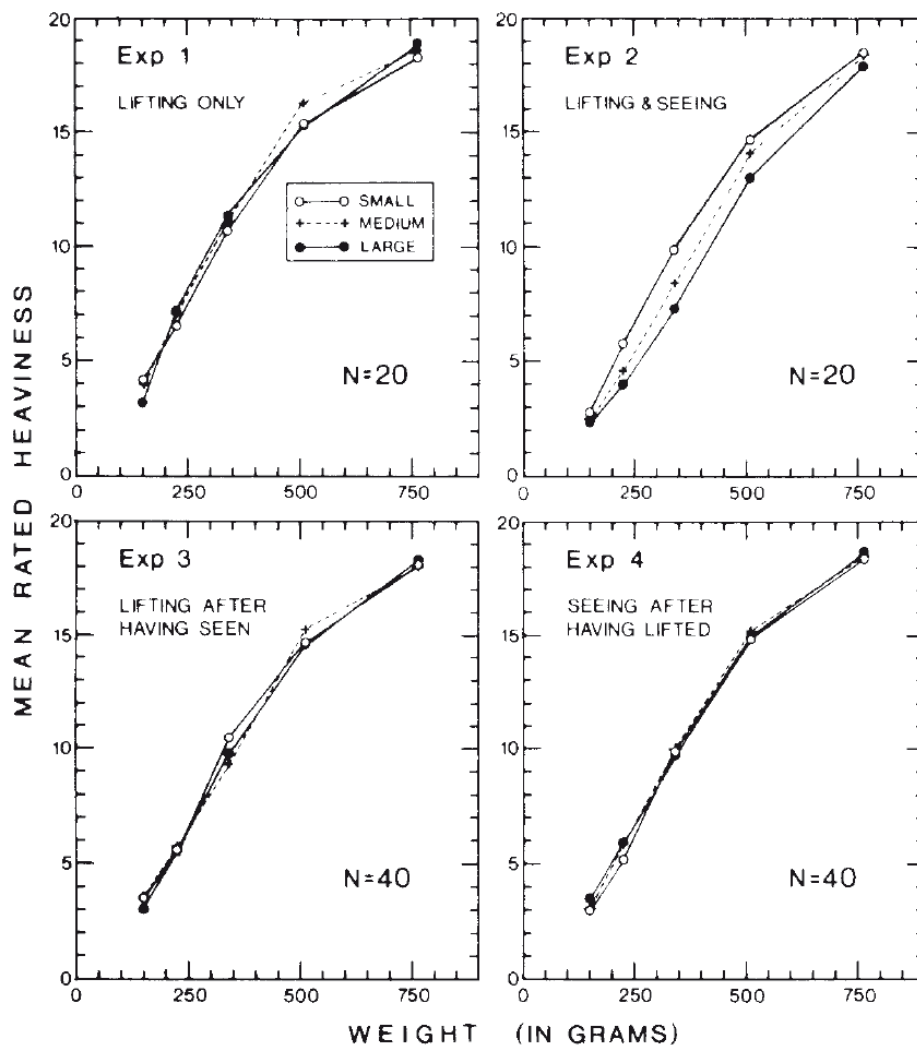


Abbildung 3: Die Ergebnisse von Masin und Crestoni (1988) zeigen: Nur wenn die Gewichte während des Hebevorganges gesehen werden können, zeigt sich der für die Größengewichtstäuschung typische Unterschied zwischen den Geraden (Exp 2). In allen anderen Bedingungen (Heben ohne Sehen (Exp. 1), erst Sehen, dann Heben (Exp. 3) und erst Heben, dann Sehen (Exp. 4) werden die mittleren psychophysischen Gewichtseinschätzungen in Abhängigkeit vom Gewicht der einzuschätzenden Objekte nicht von der Größe der Gewichte bestimmt (aus Masin & Crestoni, 1988, S.311).

In Abbildung 3 sind die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile der Versuchsteilnehmer von Masin und Chrestoni (1988) dargestellt. Wenn die Versuchsteilnehmer die Objekte vor und während des Hebevorgangs nicht sehen konnten, kam es auch bei Masin und Crestoni zu keiner Täuschung – allein das

physikalische Gewicht der Objekte bestimmt dann die Einschätzung des Gewichtes (Abbildung 3 Exp 1). Wenn die Versuchsteilnehmer die Objekte vor und während des Hebevorgangs sehen konnten, kam es wie erwartet zu dem Täuschungsphänomen (Abbildung 3 Exp 2). Bekamen die Versuchsteilnehmer die einzuschätzenden Objekte nur vor dem Hebevorgang, nicht aber während des Hebevorgangs zu sehen, stellte sich keine Täuschung ein (Abbildung 3 Exp 3). Auch wenn die Objekte erst gehoben und dann angeschaut wurden, hatte das dann vorhandene Vorwissen über die Größe der einzuschätzenden Objekte keinen Einfluss mehr auf die Gewichtswahrnehmung (Abbildung 3 Exp 4).

### **1.2.2 Physikalische Größen- und Gewichtseigenschaften des Objekts**

Eine Determinante der Größengewichtstäuschung sind die rotationsdynamischen physikalischen Kräfte, die während des Hebevorgangs einen Einfluss auf die am Hebevorgang beteiligten Muskeln ausüben und damit das haptisch erfasste Gewicht der Objekte beeinflussen, wie Amazeen und Turvey (1996) berichten. Die physikalische Grundlage für die Argumentation von Amazeen und Turvey ist dabei folgende: Beim Heben von Objekten bieten die Objekte aufgrund ihrer Masse einen Widerstand gegen eine Veränderung ihrer Position und Rotation in allen drei Raumrichtungen, der mit Muskelkraft überwunden werden muss. Dieser Widerstand variiert je nach Verteilung der Masse im zu hebenden Objekt. Die Wahrnehmung der zur Veränderung der Position von Objekten im Raum oder zu ihrer Rotation benötigten Muskelkraft erfolgt in der Peripherie des Wahrnehmungssystems, ohne dass höhere kognitive Prozesse wie Vorwissen, Erwartungen oder Rationalisierungen einen Einfluss darauf haben, so Amazeen und Turvey (1996).

Die Masseverteilungskräfte, die dabei auf ein Objekt wirken, lassen sich mit Hilfe eines *Tensors* – dies ist die allgemeine Form eines Vektors, Skalars oder einer Matrize in der Differentialgeometrie und in der Physik – mathematisch beschreiben. Um den Einfluss solcher objektabhängigen Masseträgheitstensoren auf die Wahrnehmung des

Gewichtes unterschiedlich schwerer und großer Objekte zu untersuchen, konstruierten Amazeen und Turvey (1996) ein *Tensorobjekt*, mit dessen Hilfe sie sowohl die Masse als auch den Massenträgheitstensor modifizieren konnten (Abbildung 4). Amazeen und Turvey fanden in ihren Daten wie auch in den Daten von Stevens und Rubin (1970), dass das Ausmaß der Größengewichtstäuschung von der Wahrnehmung der benötigten Rotationskräfte bestimmt wird, die beim Drehen der Tensorobjekte entstehen. Sie sind daher davon überzeugt, dass einzig die Tensoren der in Bezug auf ihr Gewicht einzuschätzenden Objekte die Gewichtswahrnehmung und damit die auch die Größengewichtstäuschung bestimmen, und nicht ihre Masse (vgl. auch Streit, Shockley, Morris & Riley, 2007).

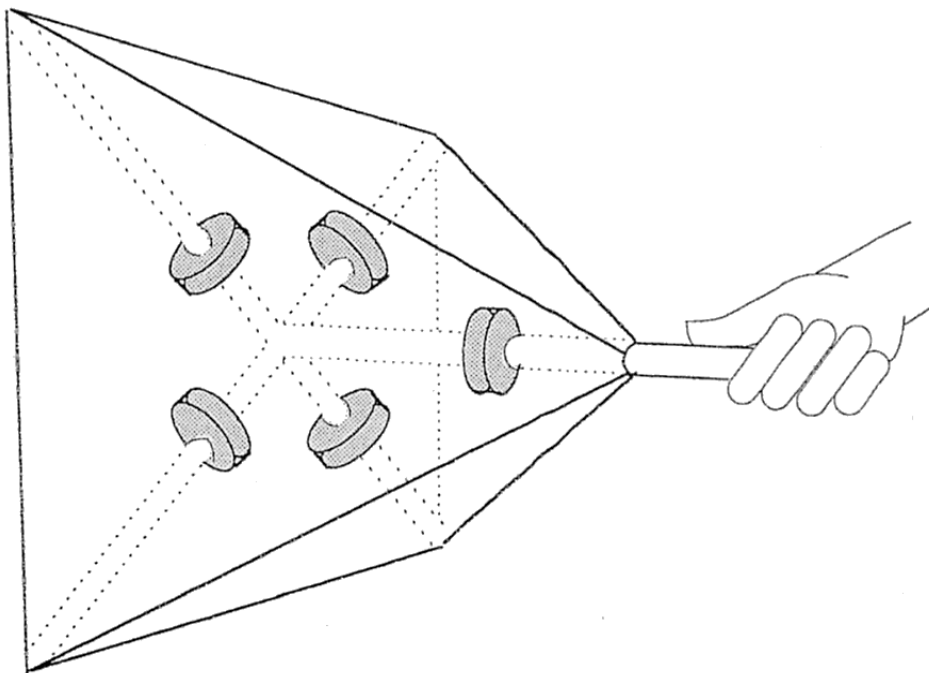


Abbildung 4: Amazeen und Turveys (1996) *Tensorobjekt*: Mit Hilfe unterschiedlicher Gewichte (grau) sowie ihrer Positionen auf den Stangen des Skelettes des Objektes können sowohl das Gewicht als auch der Masseträgheitsschwerpunkt und damit der Trägheitstensor des Objektes gezielt modifiziert werden. Damit die Versuchsteilnehmer nicht die experimentelle Variation erkennen konnten, war das Objekt von außen mit Papier bespannt (aus Amazeen & Turvey, 1996, S. 226).

Wie schon berichtet, spielen darüber hinaus beim Zustandekommen der Größengewichtstäuschung Gewicht und Größe des einzuschätzenden Objektes eine Rolle, die zusammen zu einem Gewichtseindruck zusammengefügt werden<sup>4</sup>. Dies zeigen Kawai et al. (2007) in ihrer Untersuchung der Größengewichtstäuschung für die visuell vermittelte Information über die Größe. Sie konnten in einer Augmented-Reality-Anordnung (Abbildung 5) sehr effektiv die visuellen Größenparameter der von ihren Versuchsteilnehmern einzuschätzenden Kuben variieren und gleichzeitig das Gewicht und mögliche Störfaktoren wie Gravitationsschwerpunkt, Massenverteilung oder Beschleunigungstensoren (vgl. Amazeen & Turvey, 1996) kontrollieren.

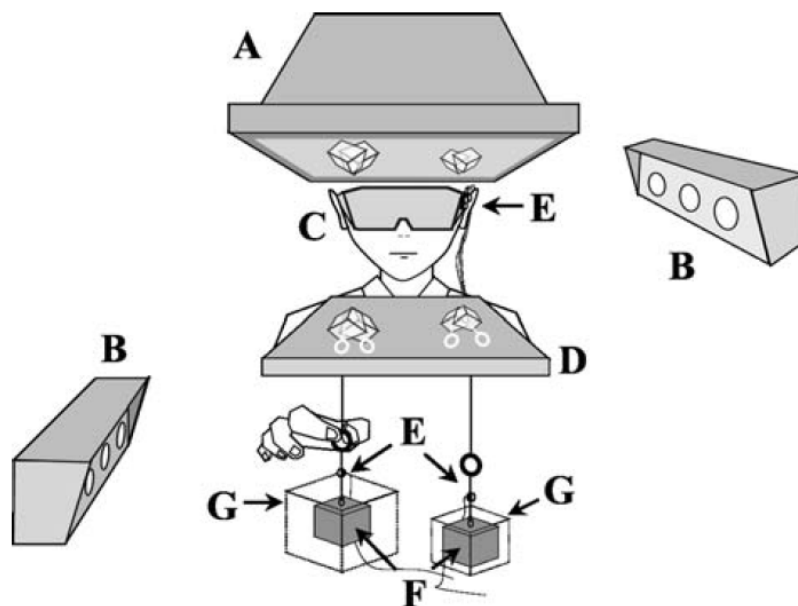


Abbildung 5: Die von Kawai et al. (2007) eingesetzte Augmented Reality-Anordnung: Die Versuchsteilnehmer sahen durch eine Stereobrille (C) auf einem halbdurchsichtigen Spiegel (D) die Spiegelung des computergenerierten Abbilds (A) der virtuellen Kuben (G). Die realen Kuben (F) waren dadurch verdeckt. Die realen Kuben wurden mit Hilfe der an ihnen befestigten Fäden gehoben. Ein Trackingsystem (B) registrierte die Bewegung des Kopfes der Versuchsteilnehmer sowie der realen Kuben mit Hilfe von Infrarot-Markern (E) und passte die Darstellung dementsprechend an (aus Kawai et al., 2007, S446).

---

<sup>4</sup> Neben wahrgenommener Größe und Gewicht spielen auch noch andere wahrgenommene physikalische Objekteigenschaften eine Rolle für die Entstehung der Größengewichtstäuschung. So zeigte sich, dass Objekte, die aus einem augenscheinlich dichteren Material bestehen, als leichter wahrgenommen werden, wenn sie gehoben werden (Wolfe, 1898; J. Ross, 1969; Harshfield & DeHardt, 1970), allerdings zeigte sich dieser Einfluss in dem Experiment von Ellis und Lederman (1999) nur bei der Darbietung leichterer Objekte (59 g), bei schwereren Objekten (357 g) blieb er aus.

In ihrer Anordnung hoben 17 Versuchspersonen reale Kuben von einem immer gleichen Gewicht von 30 g, sehen konnten sie aber nur computergenerierte, virtuelle Abbilder von Kuben, die mit Hilfe einer stereoskopischen Projektion auf einem halbdurchsichtigen Spiegel dargeboten wurden, sodass sie die darunterliegenden realen Kuben verdeckten. Bei diesen virtuellen Kuben wurden die verschiedenen Flächen (nicht aber die Kanten) verschiedenfarbig hervorgehoben, um den dreidimensionalen Eindruck noch zu verstärken. Kawai et al. (2007) stellten sicher, dass die Versuchspersonen nicht den Eindruck bekamen, die realen Kuben wären immer dieselben; hierzu befanden sich verschiedene Distraktorkuben in der Versuchsanordnung, die die Versuchsteilnehmer vor Beginn der Messung sehen konnten, und die den Eindruck erwecken sollten, dass der Versuchsleiter auch die realen, in ihrem Gewicht einzuschätzenden Kuben wechselte, die sich unter dem Spiegel befanden. Heben konnten die Versuchsteilnehmer die realen Kuben mit Hilfe daran befestigter Bänder, und ihre Aufgabe war, das Gewicht eines jeden Kubus einzuschätzen und anzugeben, ob der Kubus schwerer, gleich schwer oder leichter als der simultan dargebotene Standardkubus war. Variiert wurde die Kantenlänge (und damit die Größe) des virtuellen Vergleichskubus von 1 cm bis zu 9 cm, während der virtuelle Standardkubus immer eine Kantenlänge von 5 cm aufwies. Die Bewegungen der realen Kuben sowie der Köpfe der Versuchspersonen wurden mit Hilfe eines optischen Trackingsystems verfolgt und die Darbietung der virtuellen Kuben dementsprechend angepasst<sup>5</sup>. Nach dem eigentlichen Experiment wurde erfasst, wie gut jede Versuchsperson in der Lage war, in dieser Anordnung visuelle Größen- und Gewichtsunterschiede wahrzunehmen.

---

<sup>5</sup> Eine nähere Beschreibung der Anordnung findet sich in Summers (1999) sowie in Kawai, Summers, MacKenzie, Ivens & Yamamoto (2002).

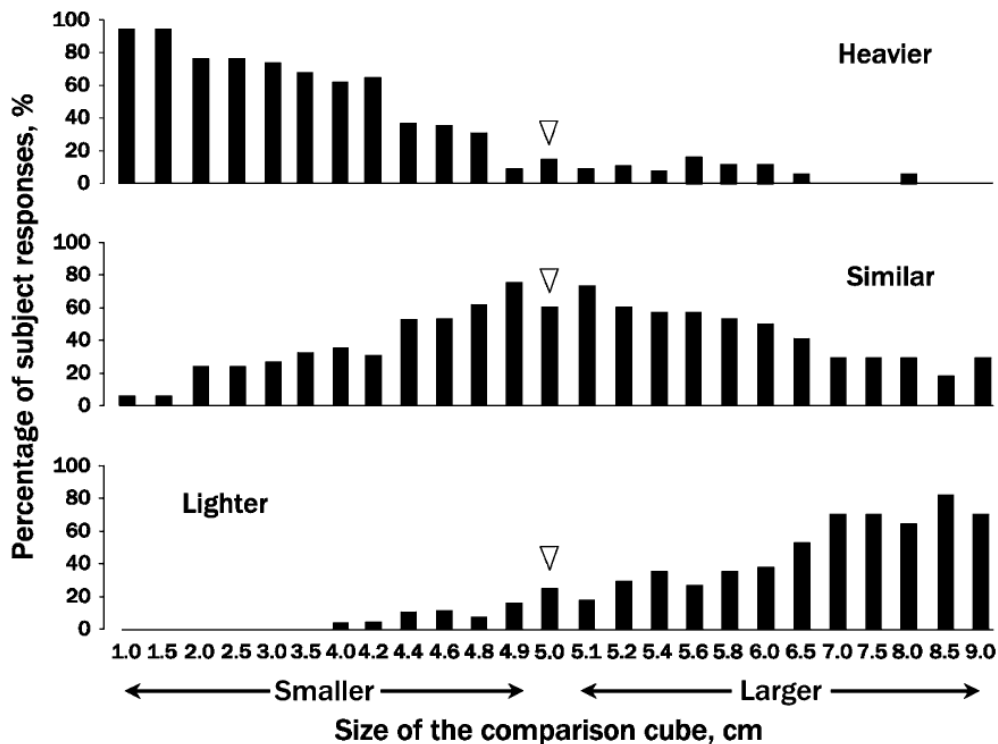


Abbildung 6: Das Ergebnis von Kawai et al. (2007): Prozentualer Anteil der Gewichtsurteile, die einen Vergleichskubus als schwerer, gleich schwer oder leichter als eine faktisch gleich schweren Standardkubus beschreiben, in Abhängigkeit von der Kantenlänge der Vergleichskuben. Die Größe des Standardkubus (5 cm Kantenlänge) ist mit Dreiecken markiert. Es zeigte sich, dass umso mehr Täuschungsurteile gefällt werden, je unterschiedlicher die Kantenlänge von Standard- und Vergleichskubus sind. (aus Kawai et al. 2007, S. 449)

Kawai et al. (2007) stellten fest, dass ihre Versuchspersonen erst dann einer Täuschung erlagen, wenn die Größenunterschiede zwischen Standard- und Vergleichskubus groß genug waren. Abbildung 6 zeigt: Wies der Vergleichskubus eine Kantenlänge von 4 cm oder weniger auf, so wurde er von allen Versuchsteilnehmern als schwerer eingeschätzt als der 5 cm-Standardkubus. Erst wenn der Vergleichskubus größer als 7 cm Kantenlänge war, so wurde er als leichter als der gleich schwere Standardkubus empfunden.

Es zeigte sich also wie vermutet, dass die visuell vermittelte Größe der Kuben einen Einfluss auf die Wahrnehmung ihres Gewichtes hat, wenn ein - hier visueller - Größenunterschied wahrnehmbar ist. Dieser eben noch merkbare Unterschied zwischen zwei Kuben in der visuellen Modalität lag für die Anordnung von Kawai et al. (2007) bei ca. 20% der Größe des Standardreizes. Damit wird deutlich, dass nicht

nur die Größe der Gewichtsojekte, sondern auch die Stärke der Größenverhältnisse zwischen den größeren und kleineren Objekten eine zentrale Rolle für das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung spielen.

### **1.2.3 Informationsintegration**

Neben den intrasensoriellen Faktoren und Phänomenen, die einen Einfluss auf die Gewichtswahrnehmung haben, gibt es auch intersensorielle Effekte, die zur Entstehung der Größengewichtstäuschung beitragen. Inzwischen wird sogar angenommen, dass die Größengewichtstäuschung primär ein intermodales Täuschungsphänomen ist, in der die Integration von Information aus verschiedenen Sinnesmodalitäten zum Ausdruck kommt (Cross & Rotkin, 1975; für eine Übersicht Stein & Meredith, 1993). Welch und Warren (1980, vgl. Welch & Warren, 1986; Bertelson & de Gelder, 2004) führen zahlreiche experimentelle Befunde dafür an, dass eine solche intersensorielle Beeinflussung generell davon abhängt, ob die Information aus verschiedenen Sinneskanälen einer einzigen Reizquelle zugeordnet wird. Nur wenn die mit einem Objekt verbundenen unterschiedlich-modalen Wahrnehmungen für den Betrachter in einem „zwingenden Zusammenhang“ stehen und auf ein und dasselbe Objekt bezogen werden können, ist mit einer intersensoriellen Beeinflussung zu rechnen.

Experimente zur sogenannten Gummihandtäuschung (Spence, Pavani & Driver, 1998; Pavani, Spence & Driver, 2000) veranschaulichen dies beispielhaft. Hier sahen Versuchsteilnehmer realistische Gumminachbildungen von zwei Händen vor sich auf dem Tisch liegen, während die eigenen Hände, für die Versuchsteilnehmer selbst nicht sichtbar, unter dem Tisch lagen. Die wiederholte simultane Stimulation einer der virtuellen Hände und der ihnen jeweils räumlich zugeordneten realen Hand mit einem Pinsel führte nach einer gewissen Zeit dazu, dass die taktile Empfindung bei der Gummihand lokalisiert wurde, auch wenn sich diese räumlich oder zeitlich etwas versetzt von der eigenen Hand befand. Biocca, Kim und Choi (2001) konnten dazu passend zeigen, dass das Gefühl, es handele sich bei der Darbietung einer virtuellen,

computererzeugten Hand um die eigene Hand, von den visuellen Darbietungsbedingungen abhängt. Eine Informationsintegration findet nur dann statt, wenn die Wahrnehmungsbedingungen es erlauben, die Information aus beiden Teilrealitäten so wahrzunehmen, als stammten sie aus einer einzigen kohärenten Realität.

Auch ein weiteres Ergebnis des oben schon erwähnten Experimentes von Kawai et al. (2007) lässt vermuten, dass Informationsintegrationsprozesse ein Grund für das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung sind. So korrelierte das Auftreten der Größengewichtstäuschung bei ihren Versuchsteilnehmern zwar mit deren Empfindlichkeit für haptische Größenunterschiede, nicht aber mit der Empfindlichkeit für visuelle Größenunterschiede. Die Autoren sehen in ihren Ergebnissen eine Bestätigung für die Annahme, dass kognitive Prozesse nicht notwendigerweise am Entstehen der Größengewichtstäuschung beteiligt sind, und halten es daher für einen informationsintegrativen Prozess des Wahrnehmungssystems. Sie argumentieren, dass die Fähigkeit visuelle Größenunterschiede feststellen zu können, dringend notwendig ist, um mit Hilfe höherer kognitiver Prozesse das Gewicht einzuschätzen, um etwa eine Erwartung formulieren zu können. Da aber in ihrem Experiment die Täuschung nicht mit der Fähigkeit korrelierte, visuelle Größenunterschiede wahrzunehmen, lehnen Kawai et al. auch eher Top-Down orientierte Annahmen (etwa von J. Ross, 1969; Mon-William und Murray, 2000) zur Erklärung zumindest der visuell induzierten Größengewichtstäuschung ab. Im Gegenzug sehen sie ihre Ergebnisse als Unterstützung für die Annahme, dass die visuelle Registrierung der Objektgröße auf der Ebene der Wahrnehmung relativ direkten Einfluss auf die Wahrnehmung von Gewicht nimmt, wie es etwa die Informationsintegrationstheorie (Anderson, 1970b; Sjöberg, 1969; Masin & Crestoni, 1988) annimmt. Einen weiteren Beleg für die wichtige Rolle informationsintegrierender Prozesse des Wahrnehmungssystem für das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung sehen Kawai et al. (2007) in Befunden aus Studien mit bildgebenden Verfahren. So wurden in einer PET-Studie Neuronen im menschlichen Kortex gefunden, die sowohl auf visuelle als auch auf



somatosensorische, sich nähernde Stimuli ansprechen (Sathian, Zangaladze, Hoffman & Grafton, 1997), während mit Hilfe von funktioneller MRI beim haptischen Erkunden von Objekten Aktivierung in eher dem visuellen System zugeordneten Hirnarealen gezeigt werden konnte (James, Humprey, Gati, Servos, Menon & Goodale, 2002).

Auch Informationstheoretiker wie Anderson und Sjöberg vertreten bei der Erklärung der Größengewichtstäuschung die Position, dass das Täuschungsphänomen Resultat eines natürlichen Integrationsprozesses von Information aus verschiedenen sensorischen Modalitäten ist. So sieht Sjöberg (1969) in der Größengewichtstäuschung ein Wahrnehmungsphänomen, bei dem visuelle Größeninformation und haptische Gewichtsinformation zu einem Gewichtseindruck zusammengeführt werden. Er versuchte als einer der ersten Forscher, die Täuschung mathematisch zu modellieren und tat dies mit folgender Gleichung:

$$R_{ij} = cw_i * h_i^{-1} \quad (1)$$

Hierbei setzt sich der wahrgenommene und dann berichtete Gewichtseindruck über ein einzuschätzendes Objekt  $R_{ij}$  aus einem Wahrnehmungsparameter  $w$  (der mit dem physikalischen Gewicht  $i$  in direktem Zusammenhang steht) und einem Wahrnehmungsparameter  $h$  (der mit der physikalischen Größe  $j$  des einzuschätzenden Objektes direkt verbunden ist) zusammen.  $w_i$  steht hierbei in einem multiplikativen Zusammenhang mit  $h_i$ ;  $c$  ist eine Konstante. Dieses Modell sagt für den Fall, dass  $R_{ij}$  gegen  $w_i$  aufgetragen wird, einen Fächer aus auseinanderlaufenden (also divergierenden) Linien voraus. Wird dagegen  $\log(R_{ij})$  gegen  $w_i$  abgetragen, so ist zu erwarten, dass die Linien für die unterschiedlich großen Objekte parallel zueinander verlaufen.

In einem Experiment überprüfte Sjöberg den Fit der erhobenen Daten auf sein Modell. Hierzu ließ er 5 Versuchsteilnehmerinnen 49 verschiedene Zylinder in Bezug auf ihr Gewicht einschätzen. Die Zylinder waren 5 cm bis 25 cm hoch, hatten einen

Durchmesser von 5 cm, und waren zwischen 105 g und 346 g schwer. Als psychophysische Messmethode kam die Größenverhältnisschätzmethode mit einem Anker zum Einsatz. Ein 189 g schwerer und 15 cm hoher Zylinder diente dabei als Standardzylinder, dem vom Versuchsleiter der Wert 10 zugewiesen wurde. Wenn ein einzuschätzender Versuchszylinder als doppelt so schwer wie der Standardzylinder eingeschätzt wurde, dann sollte dem Versuchszylinder von der Versuchsperson der Wert 20 zugewiesen werden; wurde ein Versuchszylinder als halb so schwer wie der Standardzylinder wahrgenommen, sollte er den Wert 5 bekommen. Jeder Zylinder wurde viermal eingeschätzt. Die Ergebnisse zeigten eine sehr gute Passung der Daten auf den von Sjöberg propagierten multiplikativen Zusammenhang zwischen Objektgewicht und Objektgröße zur Erklärung des wahrgenommenen Objektgewichtes.

Anderson (1970a) beschrieb den Zusammenhang von Gewicht und Größe bei der Größengewichtstäuschung in Anlehnung an seine Theorie der Informationsintegration (1970b) ebenfalls mathematisch. Er nutzte allerdings eine additive Formel<sup>6</sup>:

$$R_{ij} = w_i + (-ch_j) \quad (2)$$

Hierbei ist  $R_{ij}$  der wahrgenommene Gewichtseindruck, der sich aus der Summe von Gewicht  $w_i$  und der durch eine negative Konstante  $c$  gewichteten Größe  $h_j$  des Objektes errechnen lässt. Wenn die Person das Objekt, das sie hebt, nicht sieht, so wird der Gewichtseindruck ausschließlich vom Gewicht des Objektes bestimmt. Wird bei Anderson  $R_{ij}$  gegen  $w_i$  abgetragen, so sind parallele Linien für die unterschiedlich großen Objekte zu erwarten.

---

<sup>6</sup> Im Vergleich zu den Originalpublikationen von Anderson (1970a) und Sjöberg (1969) wurde hier die angeglichenen Notation gewählt, die Sarris und Heineken (1976) zum Zwecke der besseren Vergleichbarkeit der beiden Modelle aufstellten.

In zwei Experimenten ließ Anderson seine Versuchsteilnehmer 15 Kuben mit einem Gewicht von 150 g, 200 g oder 250 g und einer Seitenlänge von 40 mm bis 72 mm heben. Er setzte dabei zwei Endanker ein – einen Kubus mit einem Gewicht von 50 g und einer Seitenlänge von 35 mm auf der einen Seite des Gewichts-Größen-Spektrums, und einen 500 g schweren Kubus mit einer Seitenlänge von 88 mm auf der anderen Seite. In einem ersten Experiment wurden den Ankerkuben die Werte „1“ (50 g-Kubus) und „20“ (500 g-Kubus) zugewiesen und die Versuchsteilnehmer gebeten, die anderen Kuben dementsprechend einzuschätzen, nachdem sie diese mit Hilfe eines Stockes hochgehoben hatten. Im Gegensatz dazu ließ er in einem zweiten Experiment seine Versuchsteilnehmer die Kuben über ein umgelenktes Seil heben, was verhinderte, dass die Versuchsteilnehmer ihre Hände während des Hebevorganges sahen. In diesem Experiment ließ er seine Versuchsteilnehmer ihren Gewichtseindruck mit Hilfe einer auf ein Papier gedruckten Linie einschätzen. Hierzu machten die Versuchsleiter Markierungen für die beiden Ankerkuben in der Nähe des einen oder des anderen Endes dieser Linie, und forderten die Versuchsteilnehmer auf, ihren Eindruck über das Gewicht der einzuschätzenden Versuchskuben zwischen diesen Markierungen abzutragen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Größengewichtstäuschung seinem Modell folgt (Abbildung 7). Wurde die Einschätzungen gegen die Größe der Kuben grafisch abgetragen, so zeigten sich leicht ansteigenden Geraden. Dabei gab es wie erwartet keine Wechselwirkung zwischen der Größe der Gewichte und der Einschätzung.

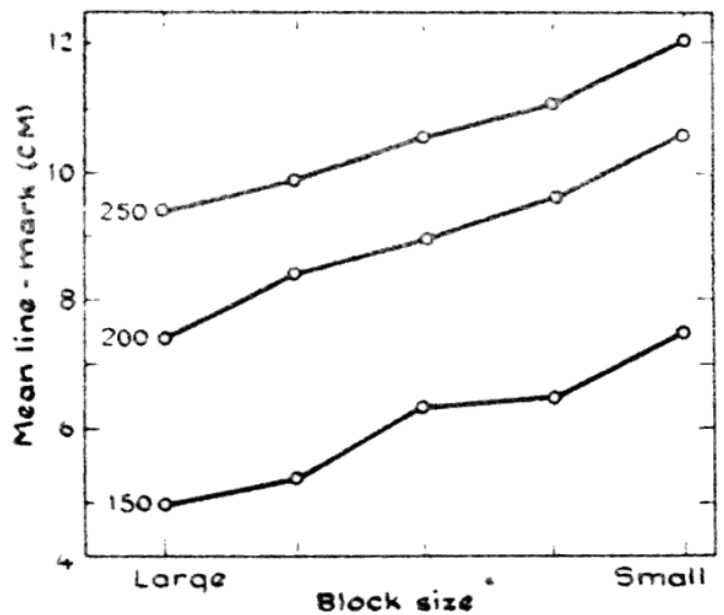


Abbildung 7: Die Ergebnisse des Experimentes von Anderson (1970a): Abgetragen sind die mittlere Gewichtseinschätzungen in Abhängigkeit von Kubusgewicht und Kubusgröße. Die Geraden verlaufen wie erwartet annähernd parallel und zeigen somit die Größengewichtstäuschung.

Sowohl Sjöberg als auch Anderson belegen mit ihren Experimenten, dass sich Menschen beim Einschätzen des Gewichtes von Objekten am Gewicht und nicht an der Dichte orientieren. Da Anderson (1970a) und Sjöberg (1969) dasselbe Phänomen mit unterschiedlichen mathematischen Modellen haben modellieren können, tauchte die Frage auf, welches Modell denn das zutreffende sei. Sarris und Heineken (1976) verglichen daher die beiden mathematischen Modelle miteinander, um zu überprüfen, ob die beiden Modelle auch unabhängig von den jeweils genutzten psychophysischen Messmethoden Bestand haben würden (Anderson: Rating-Skala in Experiment zwei; Sjöberg: Größenverhältnisschätzmethode). Sie ließen ihre 32 Versuchsteilnehmer Zylinder verschiedener Größe (5.00 cm, 11.70 cm, 18.30 cm) und verschiedenen Gewichtes (155 g, 189 g, 231 g, 283 g, 346 g) heben. Alle Zylinder hatten einen Durchmesser von 5.00 cm und waren jeweils fünfmal in Bezug auf ihr Gewicht einzuschätzen. Es gab einen Standardzylinder, der 11.70 cm hoch und 231 g schwer war, und dem von den Versuchsleitern ein Wert von 10 zugewiesen wurde. Die eine Hälfte der Versuchsteilnehmer hatte die Aufgabe, die Zylinder in Anlehnung an Sjöberg (1969) einzuschätzen, indem sie ihnen selbst gewählte Werte geben konnten. Die andere Hälfte der Versuchsteilnehmer wurde analog zu Anderson

(1970a) eine zwanzigfach abgestufte Ratingskala vorgelegt, um mit ihrer Hilfe ihren Eindruck des Zylindergewichtes anzugeben. Abbildung 8 verdeutlicht die Ergebnisse von Sarris und Heineken (1976).

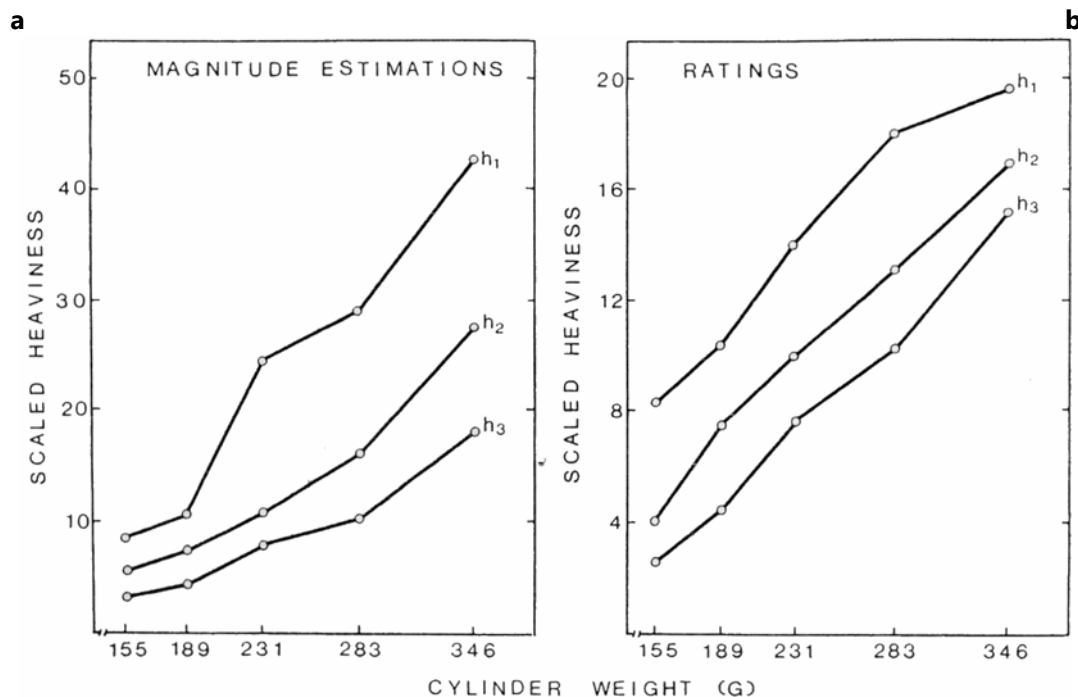


Abbildung 8: Die Ergebnisse von Sarris und Heineken (1976): Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom Gewicht (fünffach abgestuft) und Durchmesser (dreifach abgestuft) der einzuschätzenden Objekte. Abbildung 8a zeigt die mit der Größenverhältnisschätzmethode nach Sjöberg (1969) erhobenen Daten, Abbildung 8b die mit der Ratingsmethode nach Anderson (1970a) erhobenen Urteile. In beiden Fällen zeigt sich das jeweils typische Muster einer Größengewichtstäuschung (links: Fächer divergierender Linien, rechts parallel verlaufende Geraden; aus Sarris & Heineken, 1976, S. 297).

Die Ergebnisse von Sarris und Heineken zeigen, dass je nach verwendetem psychophysischem Verfahren die erhaltenen Datentrends beiden Modellen gerecht werden: Wird die Größenverhältnisschätzmethode eingesetzt (analog zu Sjöberg) und die logarithmierten subjektiven Gewichtseinschätzungen gegen das Objektgewicht abgetragen, dann driften die Geraden, die die unterschiedlich hohen Gewichte darstellen, mit zunehmendem Objektgewicht auseinander (Abb. 8 a). Wird eine Ratingskala analog zu Anderson eingesetzt und die subjektiven Gewichtseinschätzungen gegen das Objektgewicht abgetragen, dann verlaufen die Geraden, die die unterschiedlich hohen Gewichte darstellen, parallel zueinander

(Abb. 8 b). Sarris und Heineken schließen daraus, dass es die psychophysische Messmethode ist, die zu den unterschiedlichen Daten von Anderson und von Sjöberg führt; sie wollen aber kein Modell als „richtig“ oder „valider“ bewerten (Sarris & Heineken, 1976, S. 297f).

#### **1.2.4 Synchronisation von Gewichts- und Größeninformation**

Wie schon erwähnt, haben Welch und Warren (1980) in ihren Arbeiten zur Informationsintegration betont, dass Information über ein wahrgenommenes Objekt aus den verschiedenen Modalitäten ein und derselben Reizquelle zugeordnet werden muss, um erfolgreich zu einem Perzept dieses Objektes integriert werden zu können. Dass dies aber nur gelingen kann, wenn die Wahrnehmungsbedingungen so gestaltet sind, dass die Größen- und Gewichtsinformation als zeitlich und räumlich synchron wahrgenommen werden können, zeigen die Arbeiten von Heineken und Schulte (2007a, 2007b). Heineken und Schultes Annahme war, dass in einer hybriden Realität, in der Information aus einer Sinnesmodalität in einer virtuellen Realität (VR) und Information aus einer anderen Sinnesmodalität in der natürlichen Realität dargeboten wird, intersensorielle Täuschungen (die als Resultat aus der Informationsintegration entstehen) umso ausgeprägter sind, je weniger die virtuelle und die natürliche Teilrealität als unterschiedliche Realitätsbereiche erlebt werden. Die Autoren ließen ihre Versuchsteilnehmer Gewichte in einer virtuellen Realität sehen und in der natürlichen Realität heben. Sie nahmen an, dass die Ausprägung der Größengewichtstäuschung umso mehr dem Ausmaß der Täuschung entspricht, die sich in der natürlichen Realität zeigt, je stärker die VR-Technologie es erlaubt, das in der virtuellen Umgebung gesehene Objekt nicht als medial vermittelt, sondern als eins mit dem in der natürlichen Realität gehobenen Objekt zu erleben. Heineken und Schulte setzten die Größengewichtstäuschung damit quasi als Verfahren zur Messung von *Presence* ein<sup>7</sup>, denn wenn die medial vermittelte Information anschaulich

---

<sup>7</sup> Zur Messung der erlebten Presence (also der „the subjective experience of being in one place or environment, even when one is physically situated in another“, Witmer & Singer, 1998, S. 225) werden hauptsächlich Fragebogen-Verfahren eingesetzt, um die individuellen Einschätzungen im Hinblick auf zu erfassen; die Formulierung von Fragen in Presence-Fragebögen, wie „Wie real erschien Ihnen die virtuelle Welt?“ (Schubert, Friedman & Regenbrecht, 2001) oder „How natural did your interactions

äquivalent zur unvermittelt dargebotenen Information ist, kann davon ausgegangen werden, dass in der Situation Presence erlebt wird (vgl. Lombard & Ditton, 1997). Die Ausprägung der Größengewichtstäuschung in einer hybriden Realität bot sich damit auch zur Operationalisierung des Grades der erzeugten Presence an. Ob und in welchem Maße in einer medial vermittelten Umgebung Presence erlebt wird, wird in den Modellen zur Entstehung von Presence (vgl. Hartmann, Böcking, Schramm, Wirth, Klimmt & Vorderer, 2005) auf Faktoren zurückgeführt, die sich auf Merkmale der medial vermittelten Inhalte, auf Merkmale der Benutzer und auf Merkmale des jeweils verwendeten Mediums beziehen.

Heineken und Schulte setzten dazu in ihren Experimenten verschiedene Technologien zur Herstellung der virtuellen Realitäten ein. Eine der gebräuchlichen VR-Technologien ist dabei die Head Mounted Display-VR (HMD-VR). Die virtuelle Realität wird dabei auf einem Computerdisplay dargeboten, das in einen Helm integriert ist. Der Helm schirmt dabei den Betrachter von visueller Information aus der natürlichen Realität ab. Die visuellen Abbildungsverhältnisse im HMD werden in der Regel mit Hilfe eines Trackingsystems mit der Neigung und Rotation des Kopfes des Betrachters synchronisiert. Besonders interessant ist hierbei, dass der Grad der Synchronisation durch die jeweilige Responsezeit des Systems bestimmt ist, aber auch künstlich durch Verlängerung der Resonsezeit variiert werden kann. In der HMD-VR „tauchen“ die Nutzer stärker in die virtuelle Realität ein, als dies in der sogenannten Desktop-VR der Fall ist. Bei dieser Technik wird die virtuelle Realität auf einem Bildschirm abgebildet,

---

with the environment seem?“ (Witmer & Singer, 1998, S. 225), erfassen die phänomenologischen Unterschiede zwischen „angetroffen“ und „vorgestellt“ jedoch nicht. Es bleibt offen, ob die Befragten die virtuelle Umgebung und ihre Interaktion mit der Umgebung als „anschaulich wirklich“ oder „als anschaulichen Schein“ erlebt haben. Heineken und Schulte (2007a) setzten daher die Täuschung als ein Verfahren zur Messung von Presence ein, mit dem Reaktionen auf der physiologischen und der Verhaltensebene erfasst werden, die mit Merkmalen des technischen Mediums und/oder mit Merkmalen der medial vermittelten Inhalte korreliert sind. Solche objektive Messverfahren werden in den letzten Jahren zunehmend häufiger eingesetzt (vgl. Ijsselsteijn, 2004). Sie erfassen, ob in einer virtuellen Umgebung die gleichen psychologischen Effekte auftreten wie in einer analogen natürlichen Umgebung. Beim Einsatz dieser Verfahren wird davon ausgegangen, dass das Presence-Erleben um so größer ist, je stärker die in der virtuellen Realität beobachteten Effekte den aus der natürlichen Realität bekannten entsprechen.

der von seiner Umgebung in der Regel visuell nicht abgeschirmt ist. Eine Synchronisation der Abbildungsverhältnisse mit den Kopfbewegungen der Nutzer erfolgt dabei nicht. Diese Synchronisations- und Abschirmungsbedingungen jedoch sind als Determinanten des Erlebens von Presence in virtuellen Realitäten bekannt (vgl. Hendrix & Barfield, 1996; Slater, Steed, McCarthy & Maringelli, 1998; Sheridan, 1996; Steuer, 1992; Snow, 1996; IJsselstein, de Ridder, Freeman & Avons, 2000; Wirth, Hartmann, Böcking, Vorderer, Biocca, Sacau, Jäncke, Baumgartner & Jäncke, 2007; für einen Überblick Schuemie, van der Straaten, Krijn & van der Mast, 2001). Heineken und Schulte (2007a) gingen daher davon aus, dass die Größengewichtstäuschung in einer hybriden Realität von den Synchronizitäts- und Abschirmungsbedingungen mitbestimmt wird (und die Ausprägung der Täuschung sich somit zur Operationalisierung der vom Medium vermittelten Presence eignet). Sie erwarteten, dass die Ausprägung der Täuschung bei visueller Darbietung der Gewichte in einer von visuellen Einflüssen aus der natürlichen Realität abgeschirmten virtuellen Realität derjenigen in der natürlichen Realität stärker entspricht als bei visueller Darbietung der Gewichte in einer nicht abgeschirmten virtuellen Realität. Darüber hinaus vermuteten sie, dass sich eine Verlängerung der Responselatenz des Headtrackings in der HMD-VR negativ auf die Ausprägung der Täuschung auswirkt.

Die Autoren gestalteten ihr Versuchsmaterial in Anlehnung an das von Sarris und Heineken (1976) in der natürlichen Realität durchgeführte Experiment zur Untersuchung der Größengewichtstäuschung. Als Gewichte dienten 15 weiße Kunststoffzylinder mit einem Durchmesser von 50 mm. Mit Hilfe eines Stockes ließen sich die Zylinder anheben. Sie variierten in ihrer Größe und ihrem Gewicht; durch Kombination von drei verschiedenen Zylinderhöhen (50 mm, 117 mm und 178 mm) mit fünf verschiedenen Zylindergewichten (155 g, 189 g, 233 g, 283 g und 346 g) standen insgesamt 15 verschiedene Zylinder zur Verfügung. Bei Darbietung der Zylinder in den virtuellen Realitäten sahen die Versuchsteilnehmer anstelle der "realen" Zylinder deren computergeneriertes Abbild. Ein magnetisches



Trackingsystem synchronisierte die graphische Repräsentation der Gewichte und des Stockes auf dem jeweiligen Display mit der Auf-und-ab-Bewegung von Zylinder und Stock beim Hebevorgang.

Unter den Desktop-Bedingungen wurden die Abbildungen der Gewichte auf einem Display gezeigt, das auf einem Ständer in Brusthöhe der Versuchsteilnehmer fixiert war. Unterhalb des Displays wurden die unterschiedlichen Gewichte vom Versuchsleiter an den Stock gehängt und dann von den Versuchsteilnehmern gehoben. Unter einer der beiden Desktop-Bedingungen wurde ein Einblicktubus verwendet, durch den die Teilnehmer gegen visuelle Information aus der Umgebung bei der Sicht auf das Desktopdisplay abgeschirmt wurden. Unter der anderen Desktop-Bedingung erfolgte keine Abschirmung.

Es wurden drei unterschiedliche HMD-Realitäten hergestellt, die sich in Hinblick auf das Headtracking unterschieden: mit maximaler Synchronisation des im HMD dargebotenen Bildausschnittes mit der Position, Rotation und Neigung des Kopfes der Versuchsteilnehmer, mit einer künstlich herbeigerufenen Verzögerung dieser Synchronisation von 330 ms und ganz ohne diese Synchronisation. In allen HMD-Bedingungen wurden die Position, Rotation und Neigung der dargestellten Gewichte mit denen der Position, Rotation und Neigung der gehobenen Zylinder synchronisiert, in zwei der drei HMD-VR-Bedingungen wurde darüber hinaus dies auch für die Position und Rotation des HMDs vorgenommen (einmal mit maximal kurzer, unverzögerter Systemtotzeit, einmal mit künstlich verzögerter Systemtotzeit). In Abbildung 9 ist der Versuchsaufbau für die hybride Realität mit der HMD-VR und der Desktop-VR sowie die visuellen Abbildungsbedingungen mit Hilfe eines Screenshots dargestellt.

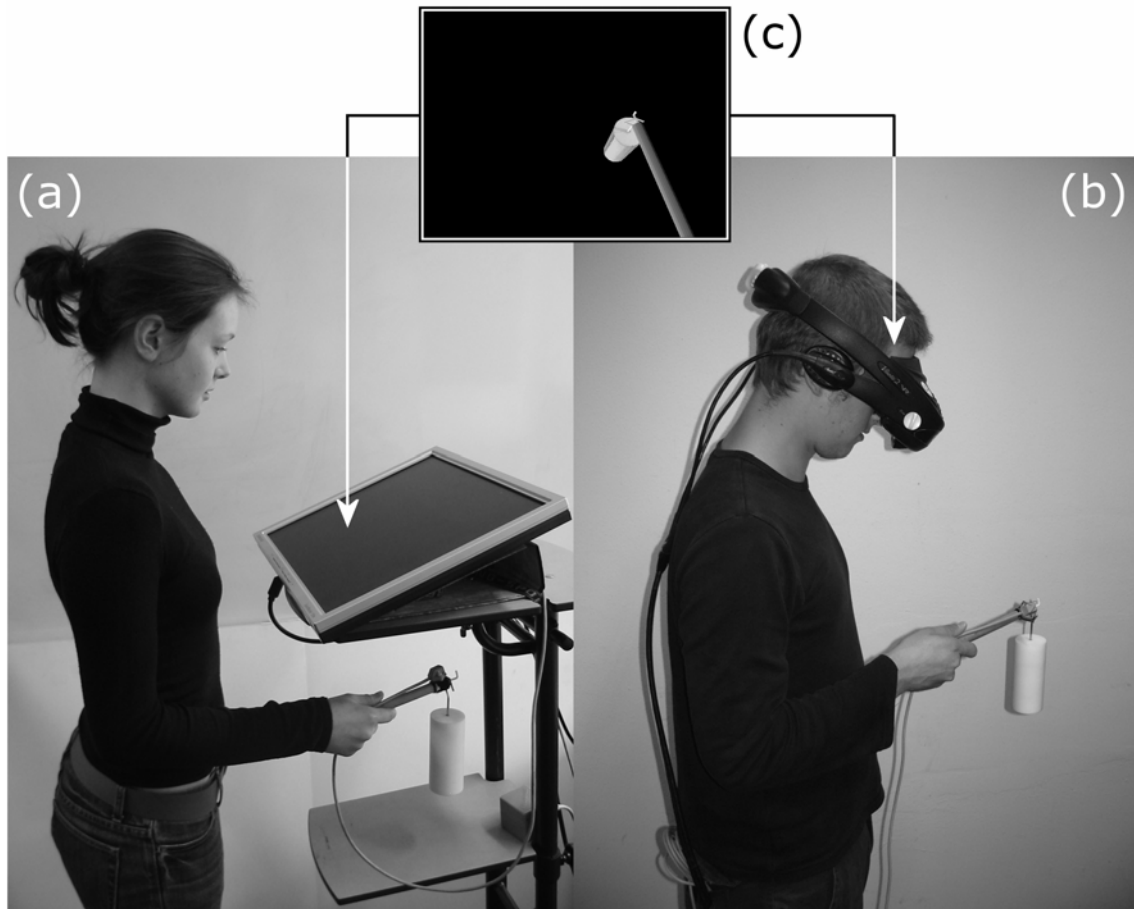


Abbildung 9: Versuchsbedingungen des Experimentes von Heineken und Schulte (2007a): Desktop VR (9a), HMD-VR (9b), und visuelle Abbildungsverhältnisse in den jeweiligen Displays (9c). (Aus Heineken & Schulte, 2007a, S. 16)

Die Zylinder wurden in der natürlichen Realität oder in einer der oben beschriebenen unterschiedlichen hybriden Realitäten präsentiert, und 60 Versuchsteilnehmer beurteilten das Gewicht der Zylinder mit Hilfe einer Magnitude-Estimation-Skala relativ zu einem Standardgewicht. Heineken und Schulte (2007a) fanden, dass die Ausprägung der Größengewichtstäuschung von den jeweiligen Darbietungsbedingungen abhing.

In Abbildung 10 sind die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile in Abhängigkeit von Höhe und Gewicht der Zylinder unter den sechs verschiedenen Darbietungsbedingungen wiedergegeben. Abbildung 10 a zeigt unter der Bedingung „Natürliche Realität“ die Charakteristika der Größengewichtstäuschung: Die Skalenwerte der Gewichtsurteile sind eine positiv beschleunigte Funktion des physikalischen Gewichtes und eine negativ beschleunigte Funktion der Größe. Die Linien zeigen den bei Verwendung der Magnitude-Estimation-Methode zu erwartenden fächerartig divergierenden Verlauf, wenn die Gewichtsurteile gegen das Gewicht für jeden Größenwert aufgetragen werden. Die Ausprägung der Täuschung ist unter den HMD-Bedingungen geringer als in der natürlichen Realität. Unter der HMD-Bedingung mit unverzögertem Headtracking (Abbildung 10 b) ist die Täuschung ausgeprägter als unter den beiden anderen HMD-Bedingungen (Abbildungen 10 c und 10 d). Unter den beiden Desktop-VR Bedingungen zeigt sich das Täuschungsphänomen nicht (Abbildung 10 e und 10 f).

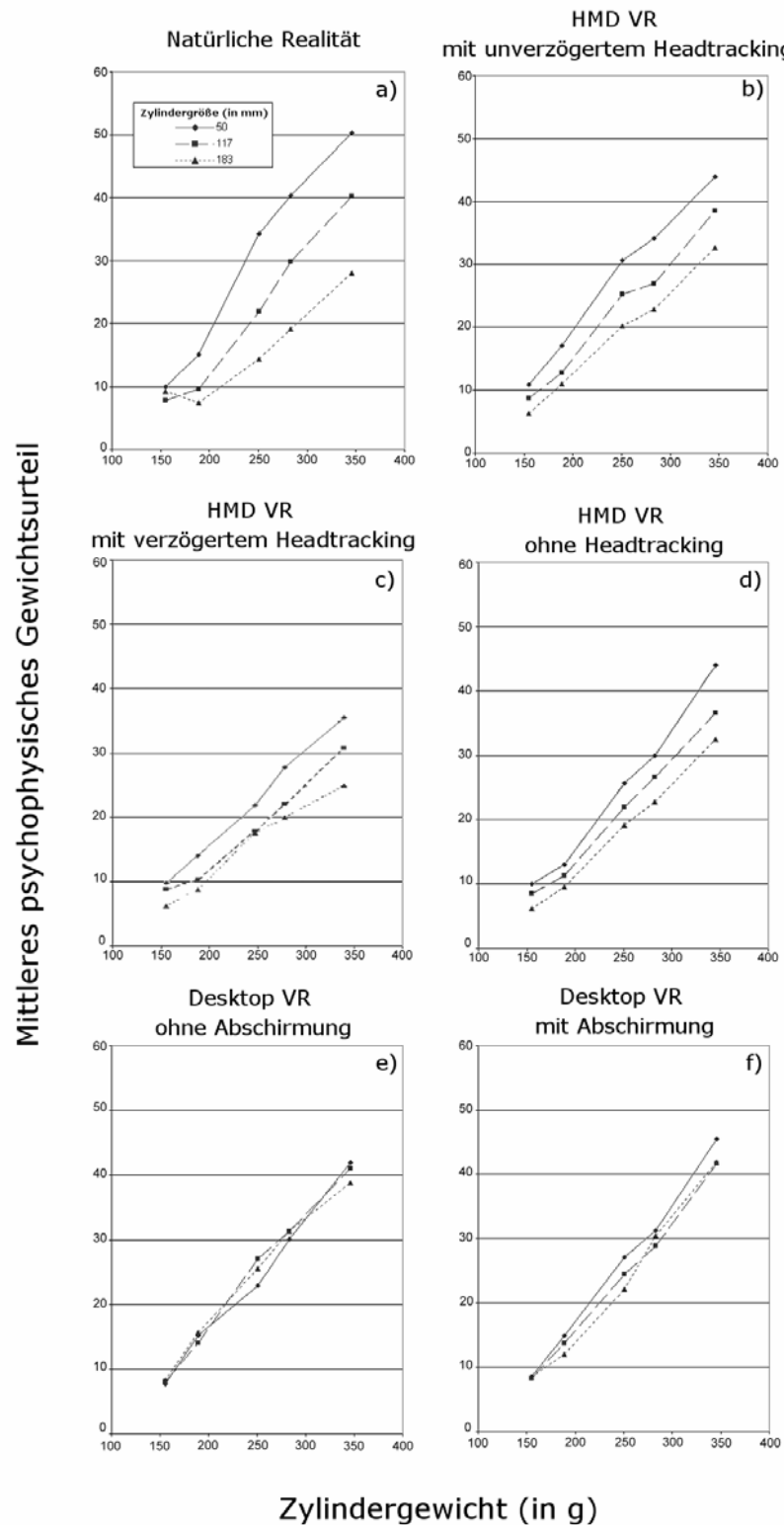


Abbildung 10: Die Ergebnisse von Heineken und Schulte (2007a): Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit von Zylinderhöhe und Zylindergewicht unter den Bedingungen Natürliche Realität (10a), HMD VR mit unverzögertem Headtracking (10b), HMD VR mit verzögertem Headtracking (10c) HMD VR ohne Headtracking (10d), Desktop VR ohne Abschirmung (10e) und Desktop VR mit Abschirmung (10f; aus Heineken & Schulte, 2007a, S. 17)

Um die Ausprägung der Größengewichtstäuschung zu quantifizieren, wurde für jeden einzelnen Versuchsteilnehmer der Steigungskoeffizient der linearen Abhängigkeitsbeziehung der über die Durchgänge hinweg gemittelten Gewichtsurteile von den jeweiligen Größen der zu beurteilenden Zylinder bestimmt. Im Täuschungsfall tragen diese Koeffizienten ein negatives Vorzeichen, womit die inverse Abhängigkeit der erlebten Schwere eines Gewichtes von seiner wahrgenommenen Größe zum Ausdruck kommt. Die mittleren Steigungskoeffizienten für die sechs Darbietungsbedingungen des Experimentes von Heineken und Schulte (2007a) sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Einfluss der verschiedenen visuellen Darbietungsbedingungen auf die Stärke der Größengewichtstäuschung (mittlere Steigungskoeffizienten des linearen Zusammenhanges zwischen Zylindergröße und Gewichtsurteil, Minima, Maxima und Grenzen der Konfidenzintervalle; aus Heineken & Schulte, 2007a, S. 18)

Darbietungsbedingung	Steigungskoeffizienten				
	Mittelwert	Minimum	Maximum	Untergrenze*	Obergrenze*
Natürliche Realität	-35.90	-65.90	-14.80	-47.06	-24.73
HMD-VR mit unverzögertem Headtracking	-21.70	-51.90	-5.50	-34.24	-9.27
HMD-VR mit verzögertem Headtracking	-19.14	-29.40	-6.70	-24.37	-13.90
HMD-VR ohne Headtracking	-17.05	-33.60	-9.70	-22.18	-11.91
Desktop-VR mit Abschirmung	-6.05	-23.90	+5.80	-11.45	-0.65
Desktop-VR ohne Abschirmung	+0.91	-4.40	+8.60	-1.77	+3.59

\*) 95%-Konfidenzintervall

Der lineare Zusammenhang zwischen Zylindergröße und Gewichtsurteil ist hiernach in der natürlichen Realität am größten und in der Desktop-VR ohne Abschirmung am geringsten. Eine Störung der sensumotorischen Rückmeldung durch Verzögerung oder durch Ausschalten des Headtrackings (und damit der Synchronisation der aus den verschiedenen Modalitäten stammenden Information) führt zu einer Abschwächung der Täuschung.

In der Analyse der individuellen Steigungskoeffizienten erwies sich der Effekt der Darbietungsbedingungen auf die Steigungskoeffizienten als signifikant; die Steigungskoeffizienten waren unter allen HMD-Bedingungen von den unter Desktop-Bedingungen erhaltenen Koeffizienten unterschiedlich. Darüber hinaus unterschied sich die Ausprägung der Täuschung in der natürlichen Realität von der in den verschiedenen hybriden Realitäten<sup>8</sup>.

Die Befunde von Heineken und Schulte (2007a) zeigen zunächst einmal, dass die Größengewichtstäuschung in ihrer Ausprägung mit all den Merkmalen der VR-Technologie in Zusammenhang steht, die als Presence-Determinanten bekannt sind, und machen damit die Täuschung als ein objektives Presence-Maß interessant. Die Ergebnisse zeigen darüber aber auch, dass offenbar die Informationsintegration bei der Größengewichtstäuschung nicht allein von sensorischen, sondern auch von sensumotorischen Gegebenheiten abhängig ist. Nach Jeannerod (2003) lassen sich drei Ebenen der motorischen Steuerung unterscheiden. Auf einer ersten Ebene laufen die unbewussten, automatischen und auf das Objekt bezogenen Bewegungen ab. Ihre Steuerung lässt sich durch Feed-Forward-Schleifen beschreiben (vgl. Voss, Ingram, Haggard & Wolpert, 2006). Auf einer zweiten Ebene sind weitere motorische Repräsentationen dem Bewusstsein zwar zugänglich, aber gleichzeitig nicht unabhängig von automatischen Kontrollprozessen (De Vignemont, Ehrsson & Haggard, 2005). Die dritte Ebene steht für die Ebene der Agency. Auf dieser Ebene der Handlung stehen die bewussten Bewegungen in Zusammenhang mit dem planenden Selbst (Haggard, 2005). Bei der Beurteilung der Gewichte laufen offenbar motorische Kontrollprozesse auf allen drei Ebenen ab, und die Daten von Heineken und Schulte (2007a) zeigen, dass für die Ausprägung des Täuschungsphänomens auch die automatisch gesteuerten sensumotorischen Prozesse von Bedeutung sind: Die Größengewichtstäuschung ist am stärksten, wenn das sensumotorische Feedback

---

<sup>8</sup> Einen ähnlichen quantitativen Unterschied zwischen Schätzwerten in einer HMD- und in einer Desktop-VR-Anordnung hatten die Autoren auch schon für die Schätzung von Distanzen gefunden (Heineken & Schulte, 2001).

unmittelbar und nicht zeitlich verzögert erfolgt und damit auch eine Synchronisation der visuellen und haptischen Größeninformation erlaubt. Damit können die Befunde von Heineken und Schulte (2007a, auch 2007b) als ein weiterer Beleg für eine wahrnehmungsbasierte Erklärung der Größengewichtstäuschung verstanden werden, wenn man den Autoren in ihrer Interpretation des von ihnen gefundenen Einflusses der zeitlichen Synchronisation von Neigung und Rotation des Kopfes mit den gegebenen Abbildungsverhältnissen auf die Größengewichtstäuschung im Sinne eines phänomenalen Kausalitätszusammenhanges nach Michotte (1963; für eine kritische Betrachtung White, 1995) folgt. Die Determinanten der phänomenalen Kausalität sind bekannt und die raumzeitlichen Merkmale kinematischer Reizkonfigurationen, unter denen sie erlebt werden, sind gut erforscht (Guski & Troje, 2003; Scholl & Nakayama, 2002); komplexe raumzeitlich organisierte Abläufe können erst dann als zusammenhängendes Geschehen erlebt werden, wenn die ihnen zugrunde liegende Reizkonfiguration es dem Wahrnehmenden erlaubt, sie in ihrem Ursache-Wirkungs-Gefüge wahrzunehmen. Die bisherige Forschung stützt damit die Annahme, dass die phänomenale Kausalität als eine autochthone Leistung des Wahrnehmungssystems zu sehen und nicht primär auf Lern- und Denkprozesse zurückzuführen ist (vgl. Scholl & Tremoulet, 2000; Gelman, Durgin & Kaufman, 1995) – und wenn dieser wahrnehmungsbasierte Prozess einen Einfluss auf die Größengewichtstäuschung hat, so ist auch anzunehmen, dass das Zustandekommen dieses Phänomens zumindest zum Teil wahrnehmungsbasiert zu erklären ist.

In Heineken und Schultes Experimenten wurde die (computergenerierte) Information über die Größe der Objekte nur in der visuellen Modalität vermittelt, während durch das Heben der Gewichte mittels eines Stabes keine Größeninformation über die haptische Modalität transportiert wurde. Im Folgenden wird aufgezeigt, dass diese Beschränkung in der experimentellen Variation auf Grundlage der vorliegenden Literatur nachvollziehbar war, denn möglicherweise hat auch die Sinnesmodalität, in der die Information über die Größe der Objekte wahrgenommen wird, einen Einfluss auf die Größengewichtstäuschung.





## **2 Experimentelle Untersuchung zur Rolle der visuell und der haptisch wahrgenommenen Objektgröße bei der Größengewichtstäuschung**

Die bereits von Carpentier (1891) beschriebene und seitdem vielfach experimentell nachgewiesene Größengewichtstäuschung bringt zum Ausdruck, dass kleinere im Vergleich zu größeren, aber gleich schweren Objekten als schwerer eingeschätzt werden. Schon früh ist deutlich gemacht worden, dass nicht die physikalische, sondern die wahrgenommene Größe der Objekte die Größengewichtstäuschung bestimmt. So hat Koseleff (1957) gezeigt, dass eine Veränderung des retinalen Abbildes der Gewichtobjekte durch konkave resp. konvexe optische Linsen sowie eine Veränderung der wahrgenommenen Größe der Objekte durch geeignete Kontextkonfigurationen (Müller-Lyer-Muster) einen Einfluss auf die Täuschung haben. Dem entsprechen auch die Befunde von Brenner und Smeets (1996), die mit dem Ponzo-Täuschungsmuster als Kontext das Wahrnehmungsbild der Objekte veränderten und auf diesem Wege zeigen konnten, dass anschaulich kleinere Objekte schneller von einer Tischplatte aufgehoben wurden als anschaulich größere, physikalisch jedoch gleich große (und gleich schwere) Objekte. Dies weist nach Interpretation der Autoren darauf hin, dass für das Heben der Objekte in Erwartung eines höheren Gewichtes mehr Muskelkraft eingesetzt wird.

In den Experimenten zur Gewichtswahrnehmung im Allgemeinen und zur Größengewichtstäuschung im Speziellen wird von den Versuchsteilnehmern häufig eine Geste verlangt, die Lederman und Klatzky (1987) als „enclosure and unsupported holding“ bezeichnen: Die Versuchsteilnehmer erhalten die Aufgabe, die in Bezug auf ihr Gewicht einzuschätzenden Objekte zu umgreifen, sie hochzuheben und sie dabei zugleich anzuschauen. Information über die Größe der Objekte liegt hierbei in der haptischen und in der visuellen Modalität vor. Zahlreiche Experimente haben zeigen können, dass sowohl die Vermittlung der Größeninformation auf nur haptischem als auch auf nur visuellem Wege eine Größengewichtstäuschung zur Folge haben kann.

Bereits Flournoy (1894) hat gezeigt, dass es auch zur Täuschung kommt, wenn Versuchsteilnehmer instruiert werden, die Gewichte in ihrer Hand nicht anzusehen. Ellis und Ledermann (1993) verbanden ihren Versuchsteilnehmern die Augen und ließen sie die Objekte mit der Hand umfassen. Eine Täuschung zeigte sich auch unter dieser Bedingung. Selbst bei von Geburt an blinden Versuchsteilnehmern konnten sie die Täuschung nachweisen (vgl. Rice, 1898). Für Ellis und Ledermann (1993) ist die visuell vermittelte Größeninformation nach diesen Befunden keine notwendige Voraussetzung für das Zustandekommen der Täuschung „With the use of congenitally blind observers, we demonstrated [...] that visual imagery is not a necessary component of the illusion either; thus, neither real vision nor visual imagery is apparently required“ (Ellis & Lederman, 1993, S. 322). Demgegenüber sind zahlreiche Experimente anzuführen, in denen die Größengewichtstäuschung auch bei ausschließlicher Vermittlung visueller Größeninformation nachgewiesen werden konnte. Hierzu gehören beispielsweise die Arbeiten von Carpentier (1891), Davids und Roberts (1976), Masin und Crestoni (1988), Gordon et al. (1991), Mon-Williams und Murray (2000), Flanagan und Beltzner (2000) Flanagan et al. (2001), Sarris und Heineken (1976) sowie Kawai et al. (2007).

Befunde aus Experimenten zur Größengewichtstäuschung, in denen die Größeninformation gleichzeitig haptisch wie visuell vermittelt wurden, haben Pick und Pick (1967) zu der Frage nach der differentiellen Bedeutsamkeit der beiden Modalitäten für die Täuschung geführt und eine Reihe experimenteller Studien zu dieser Frage initiiert. Pick und Pick (1967; vgl. Robinson, 1964) haben die Sinnesmodalität, in der die Größeninformation vermittelt wird, in systematischer Weise variiert: Information über die Größe der Objekte wurde entweder nur in der haptischen, nur in der visuellen oder in beiden Modalitäten gleichzeitig vermittelt. Als Objekte in ihren Paarvergleichen dienten Zylinder in 12 verschiedenen Gewichtsklassen (20 g bis 130 g in 10 g-Schritten) und in drei verschiedenen Größen (8 cm Höhe zu 4 cm Durchmesser/316 cm<sup>3</sup> Volumen, 7 cm Höhe zu 3,5 cm Durchmesser/212 cm<sup>3</sup> Volumen, 5,5 cm Höhe zu 3 cm Durchmesser/122 cm<sup>3</sup>

Volumen). Bei der Einschätzung des jeweiligen Gewichtes der Objekte wurde den Versuchsteilnehmern unter der Bedingung „Nur haptische Größeninformation“ die Augen verbunden. Unter der Bedingung „Keine haptische Größeninformation“ wurden die Zylinder mit Hilfe eines Bandes hochgehoben, das an den Versuchszylindern befestigt war. Unter der Bedingung „Visuelle und haptische Größeninformation“ wurden die Versuchsteilnehmer aufgefordert, die Zylinder zu umgreifen, anzuheben, und sie dabei anzuschauen.

In diesem Experiment zeigte sich unter all den Bedingungen, unter denen haptische Größeninformation vermittelt wurde, ein vergleichbar hohes Ausmaß der Täuschung, während das Täuschungsphänomen unter der Bedingung, unter der ausschließlich visuelle Information über die Größe der Objekte vermittelt wurde, deutlich geringer war. Hieraus folgern die Autoren, dass haptisch vermittelte Größeninformation die eigentliche Determinante der Größengewichtstäuschung ist. Eine gleichzeitige Beteiligung von Größeninformation aus beiden Modalitäten schließen sie mit der Begründung aus, dass in einem solchen Fall sich die Effekte aufsummieren müssten und die Täuschung im bimodalen Fall größer als bei ausschließlich haptischer Darbietung der Größeninformation sein müsste:

If this were the case, one might expect the magnitude under the visual-haptic exposure condition to be the sum of the magnitudes under the separate visual and haptic exposure conditions. The fact that haptic exposure alone eventually produces the greatest illusion may imply that in the visual-haptic exposure condition, it is the haptic exposure that is important. (Pick & Pick, 1967, S. 369-370)

25 Jahre später haben auch Ellis und Lederman (1993) in ihren Experimenten die Frage nach der Rolle der Sinnesmodalität gestellt, in der Größeninformation vermittelt wird. Als Gewichtsojekte dienten in ihrem Experiment Kuben mit einem Gewicht von 140 g, 350 g und 904 g und einem Volumen von 149 cm<sup>3</sup> bis zu 8615 cm<sup>3</sup>. Es war vor jedem Kubus ein Standard-Kubus zu heben, der ein Volumen von

1.093 cm<sup>2</sup> und ein Gewicht von 350 g hatte. Ihre Versuchsteilnehmer hatten die verschiedenen Kuben mit dem Standardkubus, dem ein fester Wert auf einer Skala vorgegeben war, zu vergleichen und dann den Kuben einen Wert zuzuweisen, der das Gewicht der Kuben im Verhältnis zum Gewicht des Standardkubus beschreibt. Dies ist die Größenverhältnisschätzmethode mit festem Anker (vgl. auch Stevens, 1971; Stevens & Rubin, 1970). Einige Versuchsbedingungen entsprachen denen in der Untersuchung von Pick und Pick: ausschließlich visuelle Wahrnehmung der Objekte, ausschließlich haptische Wahrnehmung der Objekte und gleichzeitige visuelle und haptische Wahrnehmung der Objekte. Unter einer weiteren Bedingung (Kontrollbedingung) stand keine Größeninformation – weder visuelle noch haptische – zur Verfügung. Abbildung 11 gibt das Ergebnis des Experimentes wieder: die mittleren logarithmierten Gewichtseinschätzungen der Versuchsteilnehmer werden in dem Diagramm gegen das logarithmierte physikalische Gewicht der Kuben abgetragen. Die eingetragenen Regressionslinien mit einer negativen Steigung bringen das Täuschungsphänomen zum Ausdruck: die Gewichtseinschätzung fällt mit Zunahme des Gewichtes der Kuben.

Wie erwartet zeigt sich unter der Bedingung „Ohne visuelle und ohne haptische Größeninformation“ kein Täuschungseffekt; die Steigung der Regressionsgeraden ist nahe Null. Obgleich die Gewichte hier geringfügig schwerer eingeschätzt wurden als sie tatsächlich waren, bestimmte in dieser Bedingung alleine das faktische Gewicht der Kuben den Gewichtseindruck. Unter den anderen drei Bedingungen sind die Steigungen der Regressionsgeraden deutlich negativ. Anhand einer varianzanalytischen Auswertung der Steigungskoeffizienten der Geraden zeigen die Autoren, dass unter den beiden Bedingungen, unter denen Größeninformation über die haptischen Modalität verfügbar war, kein Unterschied in den Steigungskoeffizienten vorlag. Es lag jedoch ein Unterschied zwischen diesen beiden Steigungskoeffizienten und dem Steigungskoeffizienten der Regressionsgeraden vor, die unter der Bedingung „nur visuelle Größeninformation“ in der Grafik dargestellt wird.

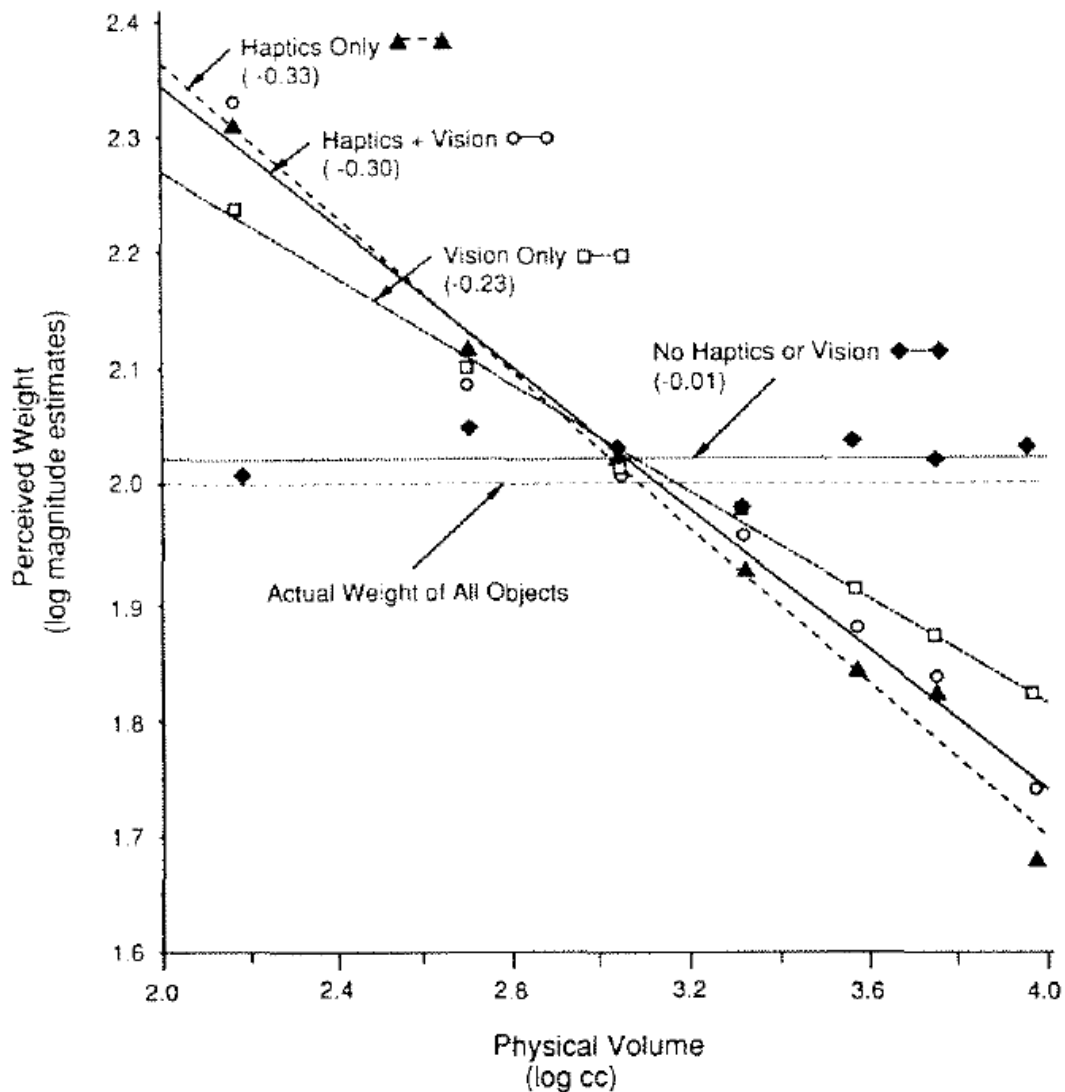


Abbildung 11: Die Ergebnisse von Ellis und Ledermans Experiment 2: Logarithmierte mittlere Gewichtseinschätzungen als Funktion der logarithmierten faktischen Größe der Kuben für die Bedingungen „Nur haptische Größeninformation“, „Haptische und visuelle Größeninformation“, „Nur visuelle Größeninformation“ und „Weder haptische noch visuelle Größeninformation“. Die Steigungen der Regressionsgraden sind in Klammern angegeben, jeder eingetragene Punkt basiert auf 24 Messwerten. Je negativer die Steigung, desto stärker ist die Täuschung; es zeigt sich keine Größengewichtstäuschung unter der Bedingung „Weder haptische noch visuelle Größeninformation“ („No haptics or Vision“), die Täuschung in der Bedingung „Vision only“ ist signifikant schwächer als das Phänomen unter den Bedingungen, in denen haptische Stimulusinformation vorliegt (aus Ellis & Lederman, 1993, S.320).

Der Argumentation von Pick und Pick (1967) und auch Ellis und Lederman (1993) folgend, gibt es bei der Größengewichtstäuschung offensichtlich einen *Modalitätseffekt*: Für das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung ist die

haptisch vermittelte Größeninformation entscheidend und die visuell vermittelte Größeninformation vernachlässigbar:

The results [...] confirm the existence of a robust haptic size-weight illusion, equal in strength to the traditional illusion reported when both haptic and visual volume cues are provided. This finding [...] strongly suggests that the traditional size-weight illusion is a primarily haptic phenomenon. (Ellis & Lederman, 1993, S. 322).

Die Annahme, dass die Größengewichtstäuschung ein primär haptisch induziertes Phänomen sei, steht jedoch in Widerspruch zu den zahlreichen oben bereits genannten Experimenten. Dieser Widerspruch verlangt nach Aufklärung.

Eine Alternativerklärung für die Befunde von Pick und Pick und Ellis und Lederman könnte in einer unterschiedlichen Repräsentation der Größen von Objekten bei visueller oder haptischer Darbietung liegen. Die Größen der visuell oder haptisch dargebotenen Objekte unterscheiden sich untereinander nicht in ordinaler Hinsicht, jedoch möglicherweise in ihren Größenverhältnissen. Die Befunde von Kawai et al. (2007) belegen sehr deutlich, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Größengewichtstäuschung in Abhängigkeit von den physikalischen Größen der Vergleichsgewichte von den Größenverhältnissen der Gewichte bestimmt wird. Es zeigt sich hier, dass die Größengewichtstäuschung umso ausgeprägter ist, je größer die quantitativen Unterschiede zwischen den Vergleichsgewichten sind. Es ist davon auszugehen, dass die wahrgenommenen Größenverhältnisse zwischen zwei in der visuellen und in der haptischen Modalität verglichenen Objekten nicht gleich sind, denn es gibt modalitätsspezifische Größencues: In der visuellen Modalität kann die Höhe eines Zylinders oder die Kantenlänge eines Kubus als Hinweisreiz für seine Größe verwendet werden, in der haptischen Modalität steht eher das Volumen des Objektes als Cue zur Verfügung.

Genau genommen erlauben die Experimente von Ellis und Ledermann (1993) und Pick und Pick (1967) keine Aussage über einen Modalitätseffekt bei der Größengewichtstäuschung, da die Wahl der Gewichtsobjekte keine zuverlässige Aussage über die in der jeweiligen Sinnesmodalität wirksamen Größencues erlaubt. Pick und Pick (1967) haben zylinderförmige Objekte als Gewichte dargeboten. Visuelle Hinweisreize auf die Größe dieser Objekte könnten die Kantenlänge oder der Durchmesser, haptische Hinweisreize könnten die Höhe oder der Umfang der Zylinder sein. Unklar bleibt in den Experimenten daher, an welchen Merkmalen der Zylinder die Versuchsteilnehmer ihre jeweilige Einschätzung der Objektgröße orientiert haben. Ellis und Lederman (1993) ließen ihre Versuchsteilnehmer kubusförmige Objekte heben. Bei visueller Darbietung derartiger Objekte kann die Art der perzeptuellen Repräsentation nicht sichergestellt werden, denn das retinale Abbild eines Kubus ändert sich nicht nur mit dem Abstand zum Betrachter, sondern auch mit dem Blickwinkel des Betrachters auf den Kubus. Tabelle 2 veranschaulicht dies: Je nachdem, von wo aus der Kubus angeschaut und wie der Kubus gedreht wird, könnte eine Einschätzung der Größe des Kubus mit der Betrachtungsperspektive variieren. Bei haptischer Darbietung der Objekte ist ebenfalls nicht festgelegt, an welchen Merkmalen die Versuchsteilnehmer ihre Größeneinschätzung orientieren.

Tabelle 2: Beispiele für verschiedene Ansichten auf einen gleichseitigen Kubus (Kanten sind rot hervorgehoben) und davon abhängig Anzahl der sichtbaren Flächen und Kanten.

Ansicht auf einen Kubus, von schräg oben auf eine Ecke	Ansicht auf einen Kubus, von schräg oben auf eine Kante	Ansicht auf einen Kubus, von vorne auf eine Fläche
9 Kanten und 3 Flächen sichtbar	7 Kanten und 2 Flächen sichtbar	4 Kanten und 1 Fläche sichtbar

Zum validen Nachweis eines Kontexteffektes bei der Größengewichtstäuschung ist eine Versuchsanordnung erforderlich, in der durch die Auswahl und Darbietung der Gewichtsobjekte sichergestellt ist, welches die Größencues sind, die in der jeweiligen Darbietungsmodalität (visuell oder haptisch) wirksam werden. Kugelförmige Objekte, wie Carpentier sie bereits verwendet hat, erfüllen dieses Desiderat. Bei visueller Darbietung von Kugeln als Gewichtsobjekte ist der Kugeldurchmesser, beim Umfassen der Kugel (also bei haptischer Darbietung) das Kugelvolumen der kritische Hinweisreiz<sup>9</sup>.

Die vorliegende Untersuchung knüpft an diesen Problemstrang an und setzt folgende Hypothesen einer experimentellen Prüfung aus:

1. Es gibt auch bei einfachen Objekten einen *Modalitätseffekt bei der Größengewichtstäuschung*: Die Sinnesmodalität (visuell oder haptisch), in der die Größe kugelförmiger Gewichtsobjekte wahrgenommen wird, hat einen Einfluss auf das Ausmaß der Größengewichtstäuschung.
2. Dieser Modalitätseffekt jedoch ist *konfundiert mit modalitätsspezifischen Unterschieden in der Größenrepräsentation der Objekte*: Die wahrgenommenen Größenunterschiede der Gewichtsobjekte haben einen Einfluss auf das Ausmaß der Größengewichtstäuschung. Bei haptischer Darbietung der Objekte bestimmen die Volumina der kugelförmigen Gewichtsobjekte, bei visueller Darbietung deren Durchmesser die Größenrepräsentation.

---

<sup>9</sup> Theoretisch könnte die Größe einer Kugel auch durch Festhalten der Kugel mit Daumen und Zeigfinger in der Nähe ihres Äquators erfasst werden. In diesem Fall wäre auch in der haptischen Modalität der Größencue der Durchmesser. Jedoch ist dies weder die natürliche Art, eine Kugel, die mit einer Hand gehoben werden kann, zu ergreifen, noch scheint es möglich, eine Kugel auf dies Art und Weise verlässlich zu greifen, wenn sie nicht angeschaut werden kann oder darf (etwa weil die Darbietung visueller Kugelgrößeninformation unterbunden werden soll).



## **2.1 Methode**

### **2.1.1 Versuchsteilnehmer**

An dem Experiment nahmen 40 Studierende teil, davon waren 26 weiblich. Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 24.83 Jahre (Alterspanne von 19 bis 46 Jahre,  $SD=5.16$ ). Es handelte sich um eine anfallende Stichprobe. 26 der 40 Versuchsteilnehmer hatten normale Sehkraft, bei den anderen Versuchsteilnehmern wurde die Sehkraft mit Hilfe einer Brille (8 Versuchsteilnehmer) oder von Kontaktlinsen (6 Versuchsteilnehmer) korrigiert. Alle Versuchsteilnehmer waren nach eigener Einschätzung rechtshändig (vgl. Oldfield, 1971). Kein Versuchsteilnehmer berichtete auf Nachfrage über motorische, muskuläre oder die Haut der Hände betreffende Erkrankungen; kein Versuchsteilnehmer kannte die Größengewichtstäuschung oder die dem Experiment zugrunde liegenden Hypothesen. Vor Beginn des Experimentes wurden die Versuchsteilnehmer über die Freiwilligkeit der Teilnahme informiert und ihnen zugesichert, dass alle Daten nur in anonymisierter Form weiterverarbeitet werden würden. Nach der Teilnahme am Experiment wurden die Versuchsteilnehmer über den wissenschaftlichen Hintergrund des Experimentes informiert und ihnen Gelegenheit gegeben, dazu Fragen zu stellen oder Anmerkungen zu machen.

### **2.1.2 Versuchsmaterial**

Als Objekte, deren Gewicht eingeschätzt werden sollte, wurden silber-graue Aluminiumkugeln verwendet. Sie wurden in Bezug auf ihr Volumen und Gewicht analog zu den Zylindern erstellt, die Sarris und Heineken (1976) und Heineken und Schulte (2007a, 2007b) eingesetzt haben. Es wurde darauf geachtet, dass auch die größten eingesetzten Kugeln von den Versuchsteilnehmern mit ihren Fingern so umfasst werden konnten, dass die Fingerspitzen deutlich über den Äquator der Kugeln reichten, damit eine Enclosure-Geste im Sinne von Lederman und Klatzky (1987) möglich war. Personen, die zu kleine Hände hatten, um die Kugel ausreichend zum umfassen, wurden schon im Vorfeld von dem Experiment ausgeschlossen.

Außerdem wurde bei der Herstellung der Kugeln darauf geachtet, dass sich aus den eingesetzten Kugeln passende Kombinationen aus jeweils kleinerer und größerer Kugel herstellen ließen, die unter Berücksichtigung ihres Volumens oder ihres Durchmessers ähnliche Größenunterschiede aufwiesen. So musste es mindestens eine Kugelkombination geben, die in Bezug auf das Volumen der Kugeln einen ähnlichen oder gleichen Größenunterschied aufwies wie eine andere Kugelkombination in Bezug auf den Unterschied des Durchmessers der Kugeln. Dies ermöglichte später unter den verschiedenen Modalitätsbedingungen eine Berechnung der Täuschungsstärke unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Größenhinweisreize. Aus der Kombination von fünf verschiedenen Kugelgewichten (155 g, 189 g, 251 g, 283 g und 346 g) mit drei Kugelvolumina ( $98 \text{ cm}^3$ ,  $230 \text{ cm}^3$  und  $359 \text{ cm}^3$ ) ergaben sich insgesamt 15 Kugeln, die drei verschiedenen Durchmesser aufwiesen (57.20 mm, 76.00 mm und 88.20 mm; Tabelle 3).

Tabelle 3: Volumen, Gewicht und Durchmesser der verwendeten Kugeln

Volumen	Gewicht	Durchmesser
$98 \text{ cm}^3$	155 g	57.20 mm
	189 g	
	251 g	
	283 g	
	346 g	
$230 \text{ cm}^3$	155 g	76.00 mm
	189 g	
	251 g	
	283 g	
	346 g	
$359 \text{ cm}^3$	155 g	88.20 mm
	189 g	
	251 g	
	283 g	
	346 g	

Um alle angestrebten Gewichts-Größen-Kombinationen zu erhalten, wurden die Aluminiumkugeln – wenn erforderlich – ausgehöhlt und gegebenenfalls mit einem kugelförmigen Stahlkern versehen. Der Schwerpunkt aller Kugeln lag in ihrem jeweiligen Zentrum, die Oberflächen aller Kugeln waren homogen und für alle Kugeln identisch (Abbildung 12).



Abbildung 12: Die verwendeten Kugeln. Es handelt sich um 15 Aluminiumkugeln in drei verschiedenen Durchmessern bzw. Volumina und fünf verschiedenen Gewichten. Hier sind die Kugeln in dem nur für den Versuchsleiter sichtbaren Ablageraster abgebildet.

Mit diesen Kugeln ließen sich die für eine spätere Berechnung der Stärke einer möglicherweise vorliegenden Täuschung notwendigen Kugelkombinationen herstellen: Der Durchmesser der großen Kugel ist mit 88.20 mm um 54% größer als der Durchmesser der kleinen 57.20 mm-Kugel, und dies entspricht annähernd der Zunahme des Volumens, wenn die mittlere Kugel (mit einem Volumen von 230 cm<sup>3</sup>) der großen Kugel (mit einem Volumen von 359 cm<sup>3</sup>) gegenübergestellt wird (+56%). Die prozentuale Größenunterschiede zwischen den Kugeln sind in Tabelle 4 aufgeführt.





Tabelle 4: Prozentualer Größenunterschied zwischen kleinen und mittleren, kleinen und großen, und mittleren und großen Kugeln in Abhängigkeit vom Vorhandensein haptischer oder visueller Kugelgrößeninformation. Die vergleichbaren Größenunterschiedsbedingungen sind markiert.

Kugelgrößeninformation	Größen- hinweis- reiz	Größenvergleich	Prozentualer Größen- unterschied groß zu klein
Nur haptische Kugelgrößeninformation (durch Umgreifen der Kugeln)	Volumen	Kleine Kugel (98 cm <sup>3</sup> ) mit mittlerer Kugel (230 cm <sup>3</sup> )	+143 %
		Kleine Kugel (98 cm <sup>3</sup> ) mit großer Kugel (359 cm <sup>3</sup> )	+266 %
		<b>Mittlere Kugel (230 cm<sup>3</sup>) mit großer Kugel (359 cm<sup>3</sup>)</b>	<b>+56 %</b>
Nur visuelle Kugelgrößeninformation (durch Betrachten der Kugeln)	Durchmesser	Kleine Kugel (57.20 mm) mit mittlerer Kugel (76.00 mm)	+33 %
		<b>Kleine Kugel (57.20 mm) mit großer Kugel (88.20 mm)</b>	<b>+54 %</b>
		Mittlere Kugel (76.00 mm) mit großer Kugel (88.20 mm)	+15 %

Vor Beginn der Gewichtseinschätzung wurde allen Versuchsteilnehmern ein 15 mm hoher Kunststoffring mit einem Durchmesser von 35 mm gegeben, und sie wurden gebeten, diesen stabil auf der nach oben gedrehten Handfläche ihrer rechten Hand zu positionieren. Auf diesen Ring wurden später die Kugeln platziert. Um sicherzustellen, dass keine Rotationseffekte während des Hebevorgangs einen Einfluss auf die Gewichtswahrnehmung hatten (vgl. Amazeen & Turvey, 1996; Kinoshita, Bäckström, Flanagan & Johansson, 1997), wurde darauf geachtet, dass sich der Ring und damit später die Kugeln in der Mitte der Hand und somit auch in der Mitte des Hebevektors befanden.







Zur Präsentation der Kugeln wurden Bedingungen hergestellt, unter denen das Vorhandensein bzw. Fehlen von visueller und haptischer Kugelgrößeninformation getrennt voneinander variiert werden konnte. Sollten visuelle Größeninformation über die Kugeln gegeben werden, so wurden die Versuchsteilnehmer ausdrücklich instruiert, die Kugeln zu betrachten, sobald diese auf den Kunststoffring in ihrer Hand gelegt wurden, und die Kugeln während des gesamten Hebevorganges nicht aus den Augen zu verlieren. Sollte keine visuelle Größeninformation zur Verfügung stehen, so erfolgte die Darreichung der Kugeln hinter einer Abschirmung, die verhinderte, dass die Versuchsteilnehmer die Kugeln während des Anreichens, des Wägens, des Einschätzens und des Entfernen sehen konnten. Die Haltung von Körper, Arm und Hand sowie Kopf war dabei identisch mit der Haltung, die eingenommen wurde, wenn visuelle Kugelgrößeninformation zur Verfügung stehen sollte. Tabelle 5 zeigt Fotos, die die Körperhaltung der Personen während des Abwägens und Einschätzens des Gewichts der Kugeln unter den oben genannten zwei Bedingungen illustrieren.

Tabelle 5: Fotos der Körperhaltung der Versuchsteilnehmer in Abhängigkeit vom Vorhandensein oder Fehlen von visueller Kugelgrößeninformation, aus unterschiedlicher Kameraposition. Darstellung ohne Kugel auf der Hand der Versuchsteilnehmerin

	Mit visueller Kugelgrößeninformation	Ohne visuelle Kugelgrößeninformation
Kamera- position		
Von hinten aufge- nommen		
Von schräg vorne aufge- nommen		

Sollte haptische Kugelgrößeninformation gegeben werden, so wurden die Versuchsteilnehmer angewiesen, mit allen Fingern die Kugeln fest aber nicht verkrampft zu umfassen und festzuhalten, sobald diese auf den Kunststoffring gelegt wurden. Sollte dagegen keine haptische Information über die Größe der Kugeln den Versuchsteilnehmern zugänglich gemacht werden, so wurden diese instruiert, ihre Finger die ganze Zeit ausgestreckt zu lassen. Der Ring auf der Handfläche sorgte dabei auf der einen Seite dafür, dass die Kugeln nicht aus der Hand rollten; auf der anderen Seite stellte er sicher, dass nicht über die unterschiedlich große Auflagefläche der unterschiedlich großen Kugeln eine Einschätzung der Kugelgröße erfolgen konnte - durch den Ring wurde immer eine gleichgroße Fläche in der Hand mit dem Gewicht der jeweiligen Kugel belastet. (Ein Vorversuch hatte gezeigt, dass sich alle eingesetzten Kugeln zusammen mit dem Ring problemlos und verlässlich heben ließen, auch wenn es nicht erlaubt war, die Kugeln mit den Fingern zu umgreifen und die Kugeln während des Hebevorganges anzusehen). Die Fotos in Tabelle 6 verdeutlichen die Lage der Kugeln und die Fingerpositionen unter diesen Bedingungen und für die verschieden großen Kugeln.

Tabelle 6: Fotos der Lage der Kugeln in der Hand und der Position der Finger während des Hebe- und Abwägevorganges in Abhängigkeit der beiden Stufen des Faktors „Haptische Kugelgrößeninformation“

Kugel- durch- Messer / Kugel- volumen	Mit haptischer Kugelgrößeninformation	Ohne haptische Kugelgrößeninformation
88.20 mm / 359 cm <sup>3</sup>		
76.00 mm / 230 cm <sup>3</sup>		
57.20 mm / 98 cm <sup>3</sup>		



Um die Gewichtseindrücke der Versuchsteilnehmer zu erfassen, wurde das psychophysische Messverfahren der Free-Modulus-Magnitude-Estimation (Größenverhältnisschätzmethode ohne festen Anker) eingesetzt. Dass mit Hilfe der Größenverhältnisschätzmethode valide und intervallskalierte Daten über die Stärke einer Empfindung erhoben werden können, zeigen Studien, die dieses Verfahren mit anderen psychophysischen Messverfahren verglichen haben (zum Beispiel Verillo, 1991), und solche Untersuchungen, die die mit der Magnitude-Estimation-Methode erhobenen Daten und Ergebnisse über verschiedene Sinneskanäle miteinander verglichen haben (zum Beispiel Bolanowski, Zwislocki & Gescheider, 1991). Die hier eingesetzte Variante der Größenverhältnisschätzmethode ohne festen Anker erlaubt, in relativ kurzer Zeit viele Objekte einschätzen zu lassen, ohne dass die Versuchsteilnehmer ermüden, da bei der Free-Modulus-Magnitude-Estimation-Methode im Gegensatz zur Fixed-Modulus-Magnitude-Estimation-Methode kein Ankerobjekt vor jedem Vergleichsobjekt gehoben werden muss. (vgl. Stevens, 1975; Gescheider, 1988; Snow & Williges, 1998). Während der Einschätzung wurde den Versuchsteilnehmern kein Feedback über die Korrektheit ihrer Einschätzungen gegeben, da die subjektiven Einschätzungen erfasst werden sollten.

### **2.1.3 Versuchsablauf**

Das Experiment wurde in einem Laborraum des Fachgebietes Allgemeine Psychologie: Kognition der Universität Duisburg-Essen in Einzelsitzungen durchgeführt. Zu Beginn wurden die Versuchsteilnehmer begrüßt und über die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme sowie über die Dauer und den Ablauf des Experimentes informiert. Die Versuchspersonen standen während des Einschätzens des Kugelgewichts neben einem Tisch mit einem Sichtschutz, hinter dem die Kugeln aufbewahrt waren. Die Versuchsteilnehmer konnten die Kugeln weder bei Betreten des Raumes noch während des Ablaufes des Experimentes sehen.

**Beispieldurchgang:** Den Versuchsteilnehmern wurde dann zunächst das psychophysische Messverfahren der Größenverhältnisschätzung ohne Anker am Beispiel der subjektiven Einschätzung der Länge von Linien erläutert und exemplarisch durchgespielt (vgl. Zwislocki, 1983). Bei den hierzu eingesetzten Probestimuli handelte es sich um auf DIN A4-Papier gedruckte Linien von 3.33 cm bis 30.00 cm Länge. Die Versuchsteilnehmer wurden gebeten, die Länge dieser Linien einzuschätzen. Hierzu mussten sie der ersten Linie (die eine Länge von 10.00 cm aufwies) einen von ihnen frei gewählten Wert geben, und die folgenden anderen zehn Linien unterschiedlicher Länge in Bezug auf ihre subjektiv wahrgenommene Länge im Verhältnis zur ersten Linie einschätzen. Wenn eine Linie also beispielsweise als nur halb so lang wie die erste Linie eingeschätzt wurde, so sollte ihr der Wert der ersten Linie multipliziert mit zwei zugewiesen werden. Wurde die zweite Linie aber als nur halb so lang wahrgenommen, so sollte ihr der Wert der ersten Linie dividiert durch zwei zugewiesen werden. Als Werte sowohl der ersten, frei gewählten Einschätzung als auch der Folgeschätzungen waren ganze Zahlen, Dezimalzahlen und Brüche erlaubt. Die Präsentationsreihenfolge der Linien war nach dem Zufall ausgewählt. Wie im späteren Experimentaldurchgang mit den Kugeln wurde den Versuchsteilnehmern im Probedurchgang kein Feedback über die Korrektheit ihrer Einschätzung gegeben, da die subjektiven Eindrücke im Mittelpunkt des Experimentes stehen sollten. Erst wenn sowohl die Versuchsperson als auch der Versuchsleiter sicher waren, dass die Versuchsperson das Einschätzungsverfahren verstanden hatte, erfolgte die analoge Einschätzung des Gewichtes der Kugeln<sup>10</sup>. Der genaue Instruktionstext ist Anhang A1 zu entnehmen.

---

<sup>10</sup> Für den Fall, dass sich im Laufe der Linienlängenaufgabe noch kein ausreichendes Verständnis über die Prozedur eingestellt hätte, stand auch noch ein weiteres Stimulusset für einen zweiten Probedurchgang zur Verfügung. Hierbei handelte es sich um auf DIN A4-Papier gedruckte Quadrate, deren Fläche einzuschätzen gewesen wäre. Bei keiner Versuchsperson war es jedoch notwendig, einen zweiten Probedurchgang durchzuführen und dabei dieses Stimulusset zu nutzen.

**Experimentaldurchgänge:** Im Anschluss an den Beispieldurchgang wurden die Versuchsteilnehmer einer Bedingungskombination aus Fehlen oder Vorhandensein von visueller und/oder haptischer Kugelgrößeninformation nach dem Zufall zugewiesen. Analog zum Beispieldurchgang war dann in zwei Experimentaldurchgängen das Gewicht der Kugeln einzuschätzen. Alle Versuchsteilnehmer wurden zunächst instruiert, ihren rechten Arm am Körper anzulegen, ihren rechten Unterarm im rechten Winkel zum Oberarm zu halten, und ihre rechte Hand mit der nach oben gekehrten Handfläche nach vorne auszustrecken. Die Versuchsteilnehmer, die keine visuelle Kugelgrößeninformation erhalten sollten, wurden darüber hinaus gebeten, so an den Sichtschutz zu treten, dass sie vor, während, und nach dem Hebe- und Einschätzungsvorgang die Kugeln nicht sehen konnten. Der Versuchsleiter achtete darauf, dass alle Versuchsteilnehmer eine vergleichbare Haltung einnahmen, unabhängig davon, ob sie vor, während und nach dem Hebevorgang die eigene Hand mit den Kugeln sehen konnten, oder diese hinter dem Sichtschutz verborgen blieb. Dann wurde ihnen der Kunststoffring gegeben, und sie wurden gebeten, diesen mittig und stabil auf der Handfläche ihrer ausgestreckten rechten Hand zu positionieren. Die Versuchsteilnehmer, die visuelle Information über die Größe der Kugeln erhalten sollten, wurden gebeten, die Kugeln sofort anzuschauen, und sie während des Hebevorganges nicht aus den Augen zu verlieren.

In jedem der beiden nun folgenden Experimentaldurchgänge wurde zunächst eine erste Kugel mit einem mittlerem Kugeldurchmesser von 76 mm und einem physikalischen Kugelgewicht von 189 g, 251 g oder 283 g auf den Ring in der Hand der Versuchsteilnehmer gelegt. Die Versuchsteilnehmer wurden gebeten, diese Kugel durch zweimaliges Auf-und-ab-Bewegen der Hand abzuwägen und dabei auf das Gewicht der Kugel zu achten. Der Hebeweg sollte mindestens 10 cm betragen und 20 cm nicht übersteigen; der Versuchsleiter achtete darauf, dass der Weg bei jeder gehobenen Kugel in diesem Wertebereich blieb. Danach wurde die Kugel vom Versuchsleiter wieder an ihren Platz hinter den Sichtschutz gelegt, und zugleich wurden die Versuchspersonen gebeten, dieser gerade eben gehobenen Kugel einen

frei von ihnen gewählten Wert zuzuweisen. Im Anschluss daran wurden die verbleibenden vierzehn Kugeln in zufälliger Reihenfolge auf den Ring in der rechten Hand der Versuchsteilnehmer gelegt. Die Versuchsteilnehmer wurden gebeten, ihre Gewichtseinschätzung unmittelbar nach Entfernen der jeweiligen Kugel aus ihrer Hand abzugeben. Die Einschätzung wurde dann vom Versuchsleiter auf einem Protokollbogen vermerkt und die nächste Kugel auf den Ring in der Hand der Versuchsperson gelegt. Alle Anreichvorgänge wurden immer mit einer konstanten, vom Versuchsleiter kontrollierten Geschwindigkeit vorgenommen und dauerten nicht länger als 2 Sekunden. Der zweite Experimentaldurchgang wurde unmittelbar nach dem ersten Experimentaldurchgang durchgeführt, zwischen beiden Durchgängen gab es keine Pause. Dabei durfte der frei gewählte Wert für die erste Kugel des zweiten Experimentaldurchganges identisch mit dem ersten gewählten Startwert sein. Nach dem zweiten Experimentaldurchgang wurden die Versuchsteilnehmer über den wissenschaftlichen Hintergrund des Experimentes informiert, und es wurde ihnen die Gelegenheit gegeben, Fragen zu stellen oder Anmerkungen an den Versuchsleiter zu richten. Für ihre Teilnahme an dem Experiment wurden sie nicht entlohnt.

#### **2.1.4 Versuchsplan**

Dem Experiment liegt ein fünffaktorielles Design mit den Zufallsgruppenfaktoren A: „Visuelle Kugelgrößeninformation“ (A1: mit visueller Kugelgrößeninformation, A2: ohne visuelle Kugelgrößeninformation) und B: „Haptische Kugelgrößeninformation“ (B1: mit haptischer Kugelgrößeninformation, B2: ohne haptische Kugelgrößeninformation), sowie den Messwiederholungsfaktoren C: „Kugelgröße“ (C1: 57.20 mm Durchmesser/ 98 cm<sup>3</sup> Volumen, C2: 76.00 mm Durchmesser/ 230 cm<sup>3</sup> Volumen, C3: 88.20 mm Durchmesser/ 359 cm<sup>3</sup> Volumen), D: „Kugelgewicht“ (D1: 155 g, D2: 189 g, D3: 251 g, D4: 283 g, D5: 346 g) und E: „Durchgang“ (E1: 1. Durchgang, E2: 2. Durchgang) zugrunde. Tabelle 7 zeigt das experimentelle Design, aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde der Faktor „Durchgang“ weggelassen. Die Bedingungen, unter denen die oben beschriebenen, vergleichbaren Größenunterschiede zu finden sind, sind in dem Plan hervorgehoben.

Tabelle 7: Experimentelles Design

Messwiederholungsfaktoren															
C: Kugelgröße (Durchmesser in mm/Volumen in cm <sup>3</sup> )															
57.20/98					76.00/230					88.20/359					
D: Kugelgewicht (in g)															
	155	189	251	283	346	155	189	251	283	346	155	189	251	283	346
Zufallsgruppen-faktoren	Ohne	k	k	k	k						G	G	G	G	G
	mit														
	ohne	k	k	k	k						G	G	G	G	G
		mit													

Hinweise: Der Faktor E: „Durchgang“ wurde der Übersicht halber weggelassen. Die kritischen Felder des Planes für einen Vergleich unter Berücksichtigung der unterschiedlichen modalitätsspezifischen Kugelgrößenhinweisreize sind markiert. „k“ für die jeweils kleinere, „G“ für die größere Kugel.

## 2.2 Ergebnisse

Das Alter der Versuchsteilnehmer in den vier experimentellen Bedingungen, die sich aus den Stufenkombinationen der Faktoren „Haptische Kugelgrößeninformation“ und „Visuelle Kugelgrößeninformation“ ergaben, unterschied sich nicht signifikant ( $F(2,72)=1.650, p=.195^{11}$ ). Gleiches gilt für die Sichtigkeit ( $\chi^2(6)=4.436, p=.618$ ) und für das Geschlecht der Versuchsteilnehmer ( $\chi^2(3)=4.835, p=.184$ ).

Die erhobenen individuellen psychophysischen Gewichtsurteile wurden mit Hilfe des Verfahrens der *Modulus Equilization* vorverarbeitet (vgl. Gescheider, 1988; Stevens, 1971; Snow, 1996; Snow & Williges, 1998; Zwislocki & Goodman, 1980), um intervallskalierte und normalverteilte Daten zu erhalten. Hierzu wurden in einem ersten Schritt alle individuellen Gewichtseinschätzungen zur Basis zehn logarithmiert und dann für jeden Versuchsteilnehmer der individuelle Mittelwert dieser logarithmierten Einschätzungen gebildet. Der Gesamtmittelwert aller individuellen Mittelwerte der Gewichtseinschätzungen aller Teilnehmer wurde dann genutzt, um jeden individuellen Mittelwert zu korrigieren, indem jeder einzelne individuelle Mittelwert vom Gesamtmittelwert subtrahiert wurde. Dies ergab für jeden Versuchsteilnehmer eine individuelle Abweichung, mit der jede individuelle logarithmierte Einschätzung durch Addition korrigiert wurde. Zum Schluss wurden alle so korrigierten Gewichtseinschätzungen entlogarithmiert. Die so erhalten Daten liegen den folgenden statistischen Analysen zugrunde<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Für alle im Folgenden berichteten Ergebnisse wurde – wenn nicht anders angegeben – ein a priori Alpha-Niveau von 5% zugrunde gelegt.

<sup>12</sup> Die Rohdaten und die vorverarbeiteten Daten sind in Anhang A2 zu finden.

In einer fünffaktoriellen Varianzanalyse der so vorverarbeiteten mittleren psychophysischen Gewichtsurteile mit den Zufallsgruppenfaktoren „haptische Kugelgrößeninformation“ (zweifach abgestuft) und „visuelle Kugelgrößeninformation“ (zweifach abgestuft) sowie den Messwiederholungsfaktoren „Durchgang“ (zweifach abgestuft), „Kugelgewicht“ (fünffach abgestuft) und „Kugelgröße“ (dreifach abgestuft) erwiesen sich die Haupteffekte der Faktoren „Kugelgewicht“ ( $F(4,144)=173.880$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.828$ ) und „Kugelgröße“ ( $F(2,72)=63.493$ ,  $p<.001$ ,  $\eta^2=.638$ ), die zweifachen Wechselwirkungen des Faktors „Kugelgröße“ mit „Kugelgewicht“ ( $F(8,288)=73.941$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.076$ ) „Kugelgröße“ mit „Haptischer Kugelgrößeninformation“ ( $F(2,72)=31.446$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.466$ ) und „Kugelgewicht“ mit „Visuelle Kugelgrößeninformation“ ( $F(4,144)=4.872$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=.119$ ) sowie die dreifache Wechselwirkung der Faktoren „Kugelgewicht“ mit „Kugelgröße“ und „Haptische Kugelgrößeninformation“ ( $F(8,288)=2.390$ ,  $p<.05$ ,  $\eta^2=0.062$ ) als statistisch signifikant. Statistisch nicht bedeutsam waren die Haupteffekte der Faktoren „Durchgang“ ( $F(1,36)=2.844$ ,  $p=.10$ ,  $\eta^2=0.073$ ), „Haptische Kugelgrößeninformation“ ( $F(1,36)=0.089$ ,  $p=.768$ ,  $\eta^2=0.002$ ) und „Visuelle Kugelgrößeninformation“ ( $F(1,36)=.296$ ,  $p=.590$ ,  $\eta^2=0.008$ ) sowie die Wechselwirkungen des Faktors „Kugelgewicht“ mit den Faktoren „Kugelgröße“ und „Visuelle Kugelgrößeninformation“ ( $F(8,288)=.314$ ,  $p=.960$ ,  $\eta^2=0.009$ ). Keine der weiteren Wechselwirkungen waren signifikant. Die signifikanten Einzel- und Wechselwirkungseffekte werden im Folgenden graphisch veranschaulicht.

Die Abhängigkeit der mittleren psychophysischen Gewichtsurteile vom physikalischen Gewicht der dargebotenen Kugeln veranschaulicht Abbildung 13. Die Abbildung zeigt den erwarteten monotonen Anstieg der Gewichtseinschätzungen bei zunehmendem physikalischen Gewicht der Kugeln.

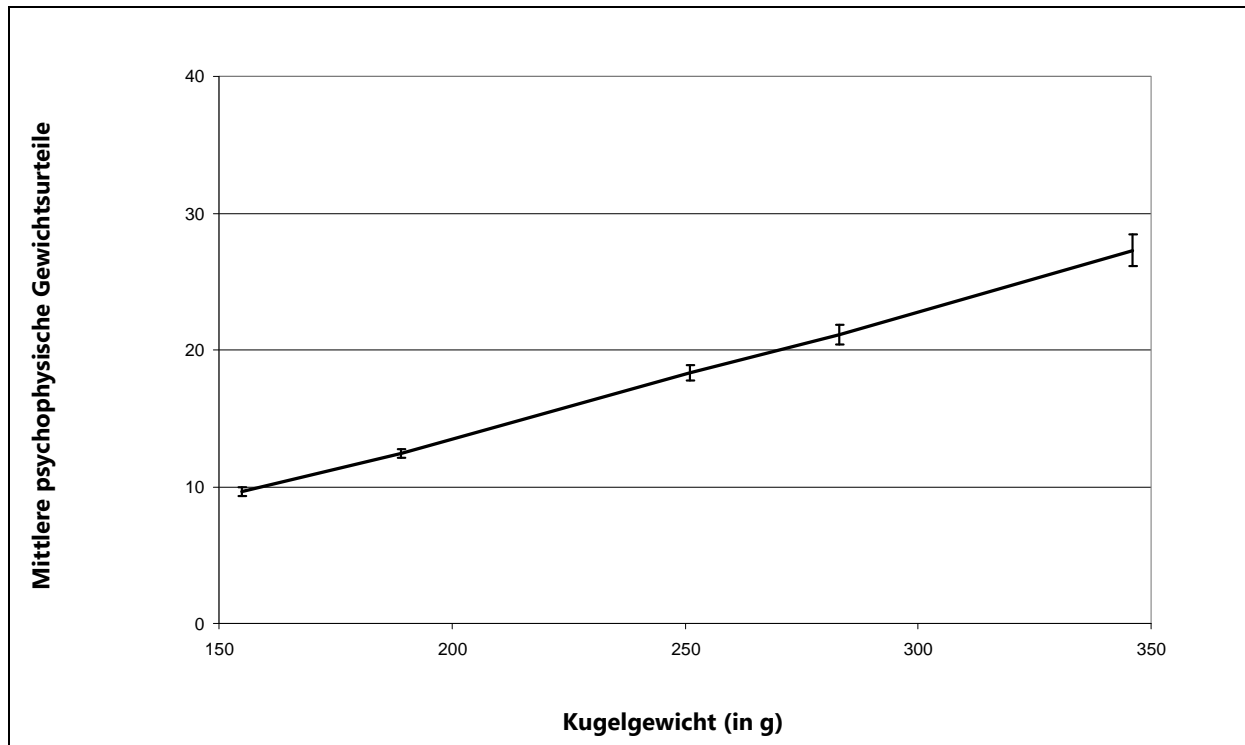


Abbildung 13: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom physikalischen Kugelgewicht (N=40, Fehlerbalken sind Standardfehler).



Abbildung 14 veranschaulicht die Abhängigkeit der mittleren psychophysischen Gewichtsurteile von der Größe der dargebotenen Kugeln (Kugeldurchmesser in mm). Die Abbildung veranschaulicht die Größengewichtstäuschung: Die Werte der mittleren psychophysischen Gewichtsurteile nehmen mit Zunahme der Größe der dargebotenen Kugeln ab.

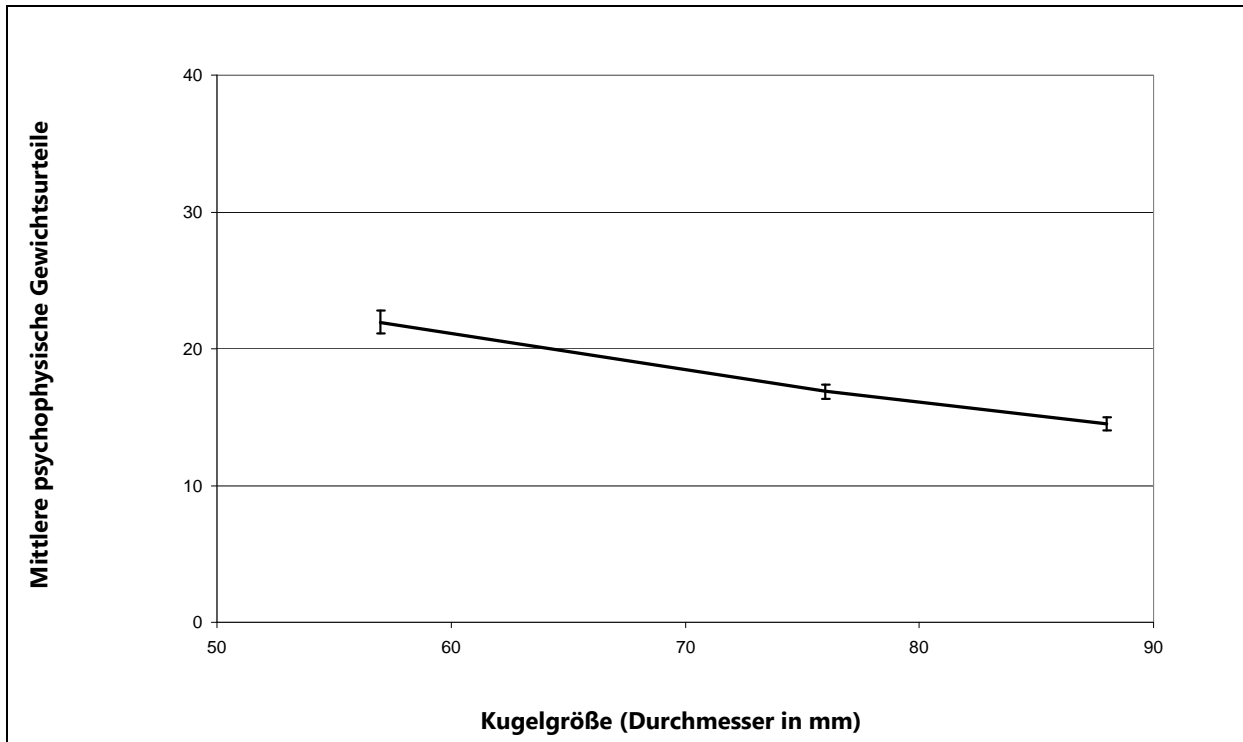


Abbildung 14: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit von der Kugelgröße (Kugeldurchmesser in mm, N=40, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Wenn die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile in Abhängigkeit des Zusammenwirkens der Faktoren Kugelgröße (Durchmesser in mm) und Kugelgewicht betrachtet werden, so zeigt sich die in Abbildung 15 dargestellte Wechselwirkung. Die Wechselwirkung finden ihren Ausdruck darin, dass der Effekt der Kugelgrößeninformation auf die Einschätzung des Gewichtes bei leichteren Gewichten geringer ist als bei schweren Gewichten: Die Größengewichtstäuschung ist umso ausgeprägter, je schwerer die einzuschätzenden Kugeln sind.

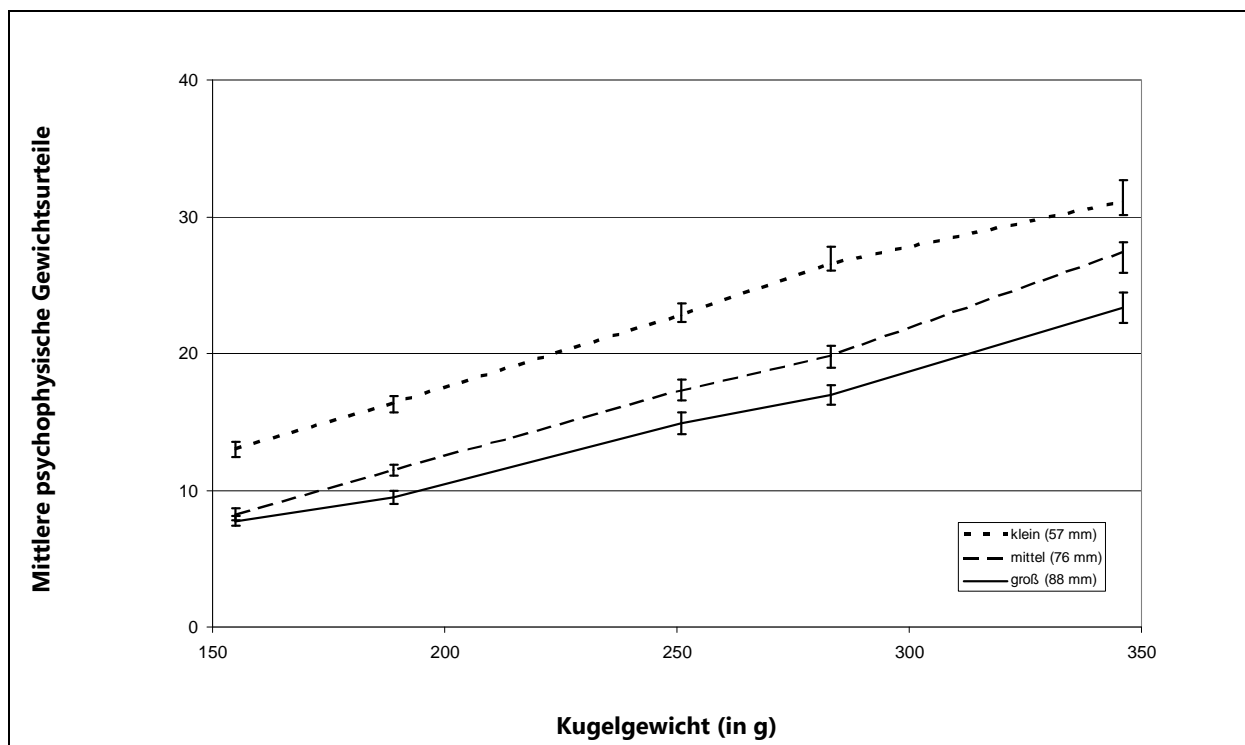


Abbildung 15: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit von der Kugelgröße und Kugelgewicht (Kugeldurchmesser in mm, Kugelgewicht in g, N=40, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Die Wechselwirkung der Faktoren „Kugelgröße“ und „Haptische Kugelgrößeninformation“ ist in Abbildung 16 dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass bei Vorhandensein von haptischer Kugelgrößeninformation die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile mit zunehmendem Kugeldurchmesser im Sinne der Größengewichtstäuschung abnehmen. Bei fehlender haptischer Kugelgrößeninformation hat demgegenüber die Größe der dargebotenen Kugeln keinen Einfluss auf die Einschätzung des Kugelgewichtes.

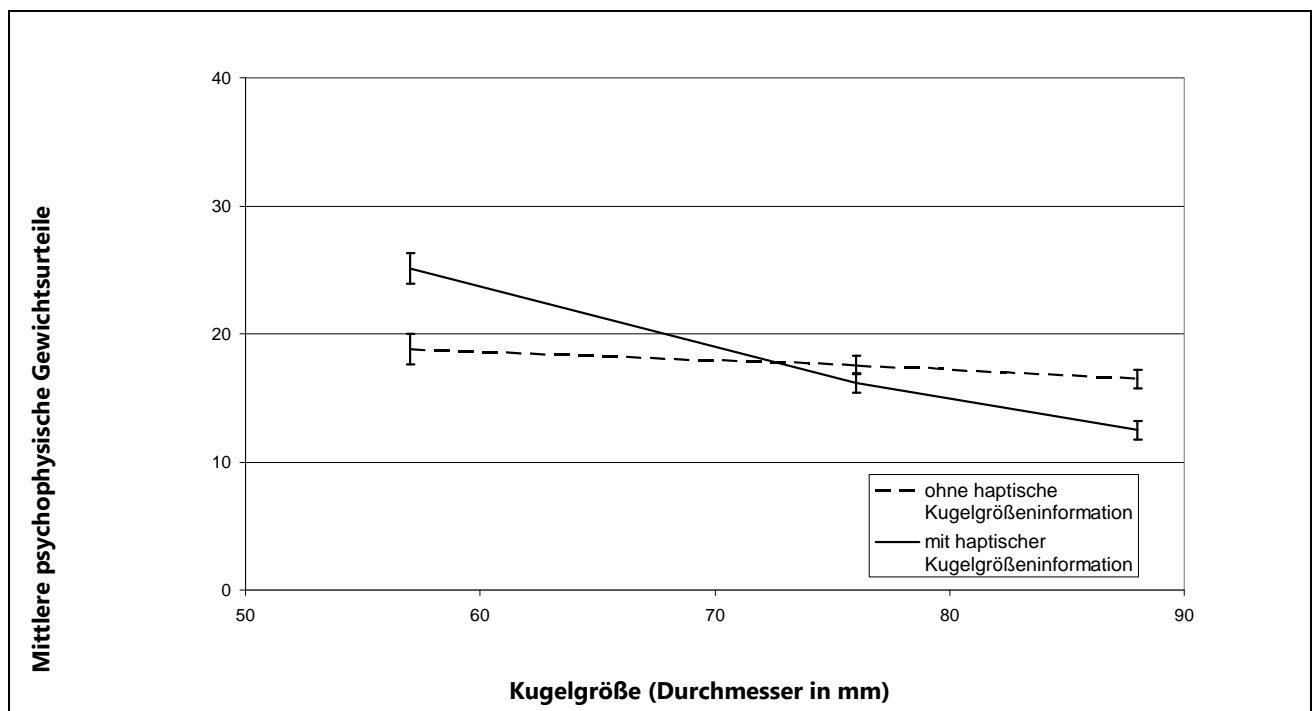


Abbildung 16: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von haptischer Kugelgrößeninformation sowie Kugelgröße (Durchmesser in mm, gemittelt über Durchgänge 1 und 2, N=40, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Abbildung 17 veranschaulicht die Abhängigkeit des mittleren psychophysischen Gewichtsurteils vom Zusammenwirken der Faktoren „Kugelgewicht“ und „Visuelle Kugelgrößeninformation“. Es wird deutlich, dass sich die Größengewichtstäuschung nur bei Darbietung des 346 g schweren Gewichtes in aller Deutlichkeit zeigt, wenn die Größe der Kugeln allein über den visuellen Sinneskanal vermittelt wird.

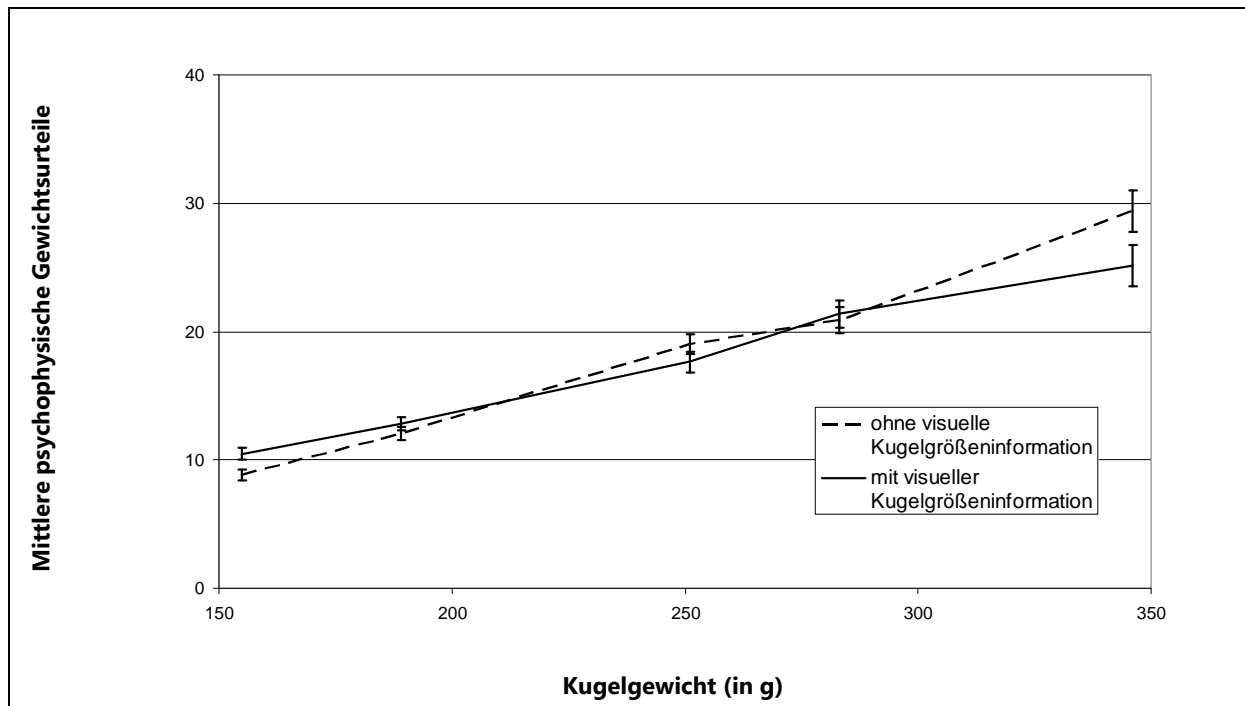


Abbildung 17: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von visueller Kugelgrößeninformation sowie Kugelgewicht (gemittelt über Durchgänge 1 und 2, N=40, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Den Wechselwirkungszusammenhang der Faktoren „Kugelgewicht“ und „Kugelgröße“ mit den Modalitäten (visuell und haptisch), in denen Information über die Größe der Kugeln vermittelt wurde, veranschaulicht Abbildung 18.

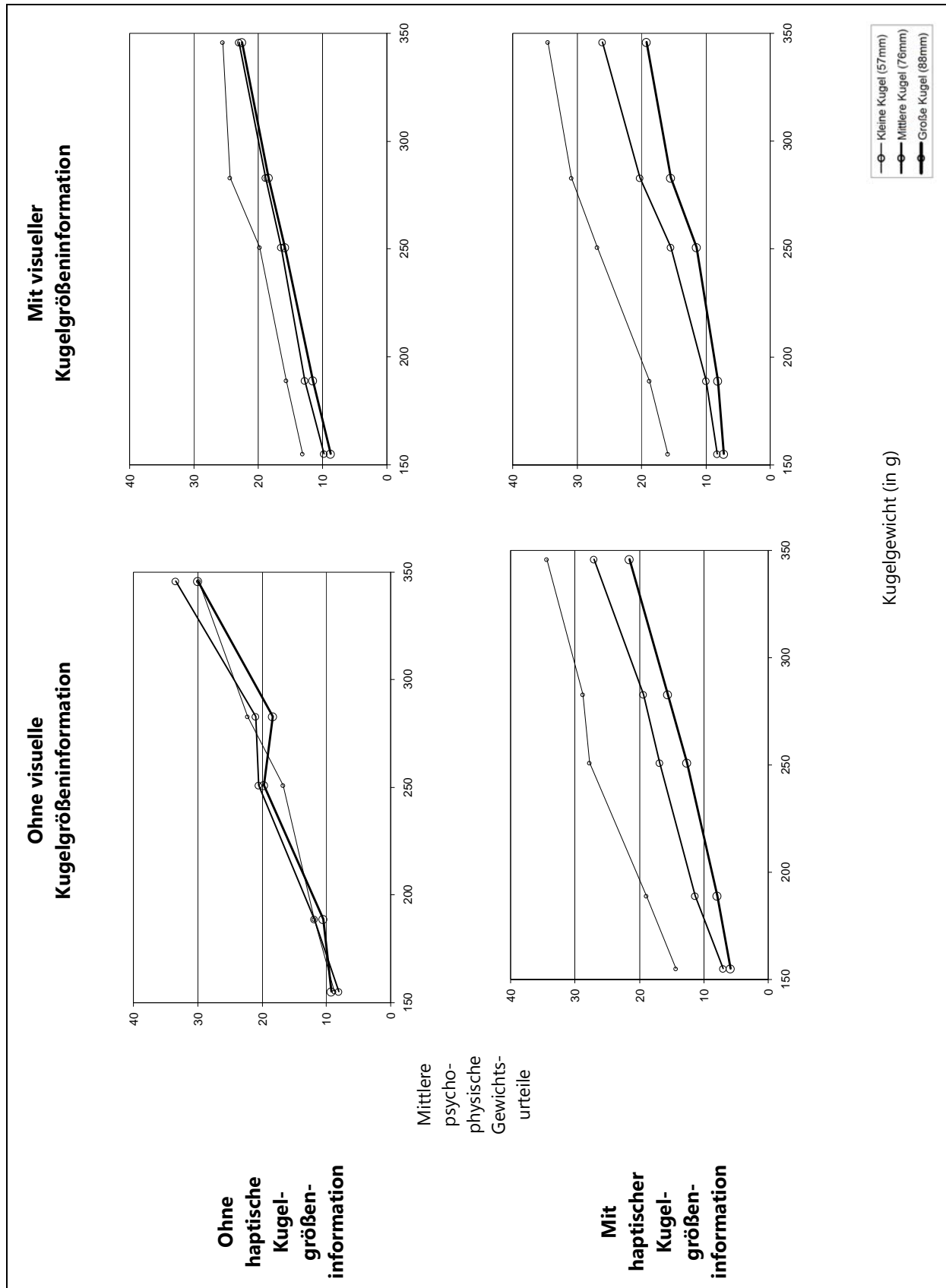


Abbildung 18: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von visueller und haptischer Kugelgrößeninformation sowie Kugelgewicht (in g) und Kugelgröße (Durchmesser in mm, gemittelt über Durchgänge 1 und 2, N=40).

Die Abbildung 18 zeigt sehr deutlich, dass das für die Größengewichtstäuschung typische Fächermuster der Datentrends dann vorliegt, wenn die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom physikalischen Gewicht der haptisch vermittelten Information über die Größe der dargebotenen Kugeln abgetragen werden (vgl. Sjöberg, 1969). Eine gleichzeitige visuelle Vermittlung der Information über die Kugelgröße hat keinen großen täuschungsverstärkenden Effekt. Die Abbildung zeigt darüber hinaus, dass bei nur visueller Vermittlung der Information über die Größe der Kugeln kein Fächermuster zu finden ist, und die Unterschiede zwischen den Geraden deutlich geringer sind als unter den Bedingungen, in denen haptische Kugelgrößeninformation vorlag. Lagen keine Größeninformationen vor, so sind die Geraden für die verschiedenen großen Kugeln fast identisch. Hier wurde das wahrgenommene Gewicht ausschließlich vom tatsächlichen Gewicht der Kugeln bestimmt.

Um das Ausmaß der Größengewichtstäuschung unter den verschiedenen Treatments und Treatmentkombinationen zu quantifizieren, wurden für die fünf verschiedenen Kugelgewichtsklassen die Steigungskoeffizienten der Regressionsgeraden „logarithmierte Kugelgröße gegen logarithmierte korrigierte mittlere Gewichtseinschätzung“ berechnet. Die Steigungskoeffizienten beschreiben somit die lineare Abhängigkeit der gemittelten korrigierten Gewichtsurteile von der faktischen Größe der zu beurteilenden Kugeln. Bei Vorliegen eines Täuschungsphänomens ist eine negative Steigung zu erwarten („je größer die Kugel ist, als desto leichter wird sie eingeschätzt“), der absolute Wert des Steigungskoeffizienten der Regressionsgeraden beschreibt dann das Ausmaß der Täuschung (vgl. Heineken & Schulte, 2007a, 2007b). Für die Größe wurde dabei analog zu Ellis und Lederman (1993) der *Durchmesser der Kugeln* in Millimetern zu Grunde gelegt. Der Einfluss der drei Faktoren „Visuelle Kugelgrößeninformation“, „Haptische Kugelgrößeninformation“ sowie „Kugelgewicht“ auf die Steigungen dieser Regressionsgeraden ist aus Tabelle 8 abzulesen.

Tabelle 8: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von haptischer und visueller Kugelgrößeninformation und vom Kugelgewicht (mittlere Steigung, Standardfehler und Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Haptische Kugelgrößen- information	Visuelle Kugelgrößen- information	Kugel- gewicht	Mittlere Steigung der Regressions- geraden	Standard- fehler	95% Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
ohne	ohne	155 g	.15	.30	-.46	.75
		189 g	-.30	.30	-.91	.31
		251 g	.44	.26	-.10	.97
		283 g	-.52	.24	-1.01	-.03
		346 g	.00	.15	-.29	.30
	mit	155 g	-.93	.30	-1.53	-.33
		189 g	-.72	.30	-1.33	-.11
		251 g	-.47	.26	-1.00	.07
		283 g	-.68	.24	-1.17	-.19
		346 g	-.28	.15	-.58	.01
mit	ohne	155 g	-2.23	.30	-2.84	-1.63
		189 g	-2.04	.30	-2.66	-1.43
		251 g	-1.85	.26	-2.39	-1.32
		283 g	-1.52	.24	-2.01	-1.03
		346 g	-1.13	.15	-1.43	-.84
	mit	155 g	-1.93	.30	-2.54	-1.33
		189 g	-2.06	.30	-2.67	-1.45
		251 g	-2.09	.26	-2.63	-1.56
		283 g	-1.53	.24	-2.02	-1.04
		346 g	-1.20	.15	-1.49	-.90

Wenn keine Kugelgrößeninformation vorlag, dann pendeln die Steigungskoeffizienten der Regressionsgeraden um den Nullpunkt (zwischen -.52 und .44). War nur visuelle Größeninformation erfassbar, so liegen die Werte schon deutlich im negativen Bereich (zwischen -.28 und -.93). Sie sind aber deutlich geringer als die Steigungen, die sich aus den Werten errechnen lassen, die erhoben wurden, wenn nur haptische Größeninformation während der Gewichtseinschätzung vorhanden war: Diese Steigungen liegen zwischen -1.13 und -2.23. Die Steigungswerte, die sich aus den subjektiven Größeneinschätzungen ergeben, die erhoben wurden, wenn sowohl visuelle als auch haptische Kugelgrößeninformation zur Verfügung stand, sind ähnlich hoch (-1.20 bis -2.09).

Bei einer vollständigen vierfaktoriellen ANOVA dieser Steigungskoeffizienten mit den Zufallsgruppenfaktoren „Haptische Kugelgrößeninformation“ (zweifach abgestuft) und „Visuelle Kugelgrößeninformation“ (zweifach abgestuft) sowie den Messwiederholungsfaktoren „Durchgang“ (zweifach angestuft) und „Kugelgewicht“ (fünffach abgestuft) erwiesen sich die Haupteffekte der Faktoren „Kugelgewicht“ ( $F(4,144)=7.693, p<.001, \eta^2=.176$ ) und „Haptische Kugelgrößeninformation“ ( $F(1,36)=51.481, p<.001, \eta^2=.588$ ) sowie die Wechselwirkung der Faktoren „Kugelgewicht“ und „Haptische Kugelgrößeninformation“ ( $F(4,144)=6.021, p<.001, \eta^2=.143$ ) als statistisch signifikant. Weder der Faktor „Durchgang“ ( $F(1,36)=.538, p=.468, \eta^2=.015$ ) noch die Wechselwirkung des Faktors „Kugelgewicht“ mit dem Faktor „Visuelle Kugelgrößeninformation“ ( $F(4,144)=1.158, p=.332, \eta^2=.031$ ) war statistisch bedeutsam. Einzelpaarvergleiche zeigen, dass sich der Steigungskoeffizient bei Darbietung der 346 g-Kugel signifikant von den Steigungskoeffizienten unterschied, die aus den bei Darbietung der leichteren Kugeln erhobenen Daten resultierten (Tabelle 9).



Tabelle 9: Ergebnisse der Einzelpaarvergleiche der Steigung der Regressionsgeraden in Abhängigkeit vom Kugelgewicht (Mittlere Differenz, Standardfehler, Signifikanzwert sowie Unter- und Obergrenze des 95% Konfidenzintervalls für die Differenz)

Paarweise Vergleiche						
Gewicht	Gewicht	Mittlere Differenz	Standardfehler	Sig. <sup>a</sup>	95% Konfidenzintervall für die Differenz <sup>a</sup>	
					Untergrenze	Obergrenze
155 g	189 g	.04	.13	.75	-.22	.30
	251 g	-.25	.14	.10	-.54	.05
	283 g	-.18	.13	.18	-.44	.09
	346 g	-.59*	.14	.00	-.87	-.30
189 g	155 g	-.04	.13	.75	-.30	.22
	251 g	-.29*	.14	.05	-.57	-.01
	283 g	-.22	.15	.12	-.49	.06
	346 g	-.63*	.12	.00	-.87	-.39
251 g	155 g	.25	.14	.10	-.05	.54
	189 g	.29*	.14	.05	.01	.57
	283 g	.07	.11	.52	-.15	.28
	346 g	-.34*	.11	.00	-.57	-.11
283 g	155 g	.18	.13	.18	-.09	.44
	189 g	.22	.14	.12	-.06	.49
	251 g	-.07	.11	.52	-.28	.15
	346 g	-.41*	.11	.00	-.64	-.18
346 g	155 g	.59*	.14	.00	.30	.87
	189 g	.63*	.12	.00	.39	.87
	251 g	.34*	.11	.00	.11	.57
	283 g	.41*	.11	.00	.18	.64

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

a. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Geringste signifikante Differenz (entspricht keinen Anpassungen).

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem .05-Niveau signifikant.

Die signifikanten Effekte aus der Varianzanalyse der Steigungskoeffizienten werden im Folgenden in einer Reihe tabellarischer Darstellungen veranschaulicht. Tabelle 10 zeigt die Abhängigkeit der Steigungskoeffizienten vom physikalischen Kugelgewicht. Es wird deutlich, dass die Stärke der Täuschung, die in der Größe des negativen Steigungskoeffizienten zum Ausdruck kommt, mit Zunahme des physikalischen Kugelgewichtes abnimmt. Dieser Zusammenhang ist allerdings nicht monoton.

Tabelle 10: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit vom Kugelgewicht (mittlere Steigung, Standardfehler sowie Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Kugelgewicht	Mittlere Steigung der Regressionsgeraden	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
155 g	-1.24	.15	-1.54	-.94
189 g	-1.28	.15	-1.58	-.97
251 g	-.99	.13	-1.26	-.73
283 g	-1.06	.12	-1.31	-.82
346 g	-.65	.07	-.80	-.51

Der Einfluss des Faktors "Haptische Kugelgrößeninformation" auf die Stärke der Täuschung kommt in den in Tabelle 11 berichteten Steigungskoeffizienten zum Ausdruck. Bei haptischer Vermittlung der Information über die Größe der Kugeln ist die Täuschung bedeutend ausgeprägter als bei fehlender haptischer Kugelgrößeninformation.

Tabelle 11: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von haptischer Kugelgrößeninformation (mittlere Steigung, Standardfehler und Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Haptische Kugelgrößeninformation	Mittlere Steigung der Regressionsgeraden	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
ohne (N=20)	-.33	.14	-.62	-.05
mit (N=20)	-1.76	.14	-2.04	-1.47

Der Effekt einer visuell vermittelten Information über die Größe der Kugeln auf das Größengewichtsurteil kommt in den in Tabelle 12 berichteten Steigungskoeffizienten zum Ausdruck. Nach den aufgeführten mittleren Steigungskoeffizienten gibt es keinen relevanten Unterschied in der Stärke der Größengewichtstäuschung, ob die Information über die Größe der Kugeln visuell vermittelt wurde oder nicht.

Tabelle 12: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von visueller Kugelgrößeninformation (mittlere Steigung, Standardfehler und Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Visuelle Kugelgrößeninformation	Mittlere Steigung der Regressionsgeraden	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
ohne (N=20)	-.90	.14	-1.19	-.62
mit (N=20)	-1.19	.14	-1.47	-.90

Der Effekt eines Zusammenspiels zwischen dem Faktor „Kugelgewicht“ und dem Faktor „Haptische Kugelgrößeninformation“ wird in Tabelle 13 veranschaulicht.

Tabelle 13: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von haptischer Kugelgrößeninformation und vom Kugelgewicht (mittlere Steigung, Standardfehler und Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Haptische Kugelgrößeninformation	Kugelgewicht	Mittlere Steigung der Regressionsgeraden	Standardfehler	95% Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
ohne (N=20)	155 g	-.39	.21	-.82	.03
	189 g	-.51	.21	-.94	-.08
	251 g	-.01	.19	-.39	.36
	283 g	-.56	.17	-.95	-.25
	346 g	-.14	.10	-.35	.07
mit (N=20)	155 g	-2.08	.21	-2.51	-1.66
	189 g	-2.05	.21	-2.48	-1.62
	251 g	-1.97	.19	-2.35	-1.60
	283 g	-1.52	.17	-1.87	-1.18
	346 g	-1.16	.10	-1.37	-.96

In der Tabelle 13 zeigt sich, dass die absoluten mittleren Steigungskoeffizienten sehr niedrig sind, wenn keine haptische Kugelgrößeninformation gegeben wurde. Wenn dagegen haptische Größeninformation zur Verfügung stand, sind die absoluten Werte der Steigungskoeffizienten recht hoch. Es zeigt sich darüber hinaus, dass die Steigungskoeffizienten bei Darbietung haptischer Kugelgrößeninformation mit der Zunahme des dargebotenen Gewichtes monoton abnehmen.

Betrachtet man dagegen die Steigungen der Regressionsgeraden in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein visueller Kugelgrößeninformation und vom tatsächlichen Kugelgewicht, so zeigt sich ein anderes Bild (Tabelle 14). Die Werte in der Tabelle machen deutlich, dass die Stärke der Täuschung unabhängig von Vorhandensein oder Fehlen visueller Kugelgrößeninformation ist.

Tabelle 14: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit vom Fehlen oder Vorhandensein von visueller Kugelgrößeninformation und vom Kugelgewicht (mittlere Steigung, Standardfehler und Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Visuelle Kugelgrößen- information	Kugelgewicht	Mittlere Steigung der Regressions- geraden	Standard- fehler	95% Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
ohne	155 g	-1.04	.21	-1.47	-.62
	189 g	-1.17	.21	-1.60	-.74
	251 g	-.71	.19	-1.09	-.33
	283 g	-1.02	.17	-1.37	-.67
	346 g	-.57	.10	-.77	-.36
mit	155 g	-1.43	.21	-1.86	-1.01
	189 g	-1.34	.21	-1.82	-.96
	251 g	-1.28	.19	-1.66	-.90
	283 g	-1.10	.17	-1.45	-.76
	346 g	-.74	.10	-.95	-.53

Zusammenfassend kann hier festgehalten werden, dass die Größe der Kugeln, charakterisiert durch die Größe ihres Durchmessers, einen Einfluss auf das wahrgenommene Gewicht hat: Kleinere Kugeln werden als schwerer, größere Kugeln gleichen tatsächlichen Gewichtes als leichter empfunden. Der wahrgenommene

Gewichtsunterschied zwischen kleinerer und größerer Kugel nimmt mit dem physikalischen Gewicht der Kugeln zu – die Faktoren „Kugelgewicht“ und „Kugelgröße“ stehen in Wechselwirkung zueinander. All dies ist in den analysierten Daten allerdings nur unter der Bedingung der Fall, dass die Information über die Größe der Kugeln haptisch vermittelt wird. Diese Zusammenhänge wurden für den Fall ermittelt, dass sich die phänomenale, also die von den Versuchspersonen wahrgenommene Größe der Kugeln sowohl bei haptischer als auch bei visueller Vermittlung am physikalischen Durchmesser der Kugeln orientiert hat. Es besteht jedoch – wie oben beschrieben – Grund zu der Annahme, dass die Kugelgrößen modalitätsspezifisch wahrgenommen werden, wobei die Größenwahrnehmung sich im visuellen Fall am Durchmesser oder am Umfang und im haptischen Fall am Volumen der Kugeln orientiert. Um zu ermitteln, ob der berichtete Modalitätseffekt Resultat einer Konfundierung modalitätsspezifischer Größenhinweisreize ist, wurden die Daten einer detaillierteren Analyse unterzogen.

Im Folgenden wird über die Ergebnisse der Auswertung der Gewichtsurteile derjenigen Versuchsteilnehmer berichtet, die unter den Faktorenstufenkombinationen erhoben wurden, unter denen eindeutig ist, aus welcher Modalität die potentiellen Kugelgrößenhinweisreize stammten. Dies sind die Kombinationen der Faktorstufen „Mit haptischer Kugelgrößeninformation“ und „Ohne visuelle Kugelgrößeninformationen“ sowie „Ohne haptische Kugelgrößeninformation“ und „Mit visueller Kugelgrößeninformation“ und schließlich die Kombination „Ohne haptische Kugelgrößeninformation“ mit „Ohne visuelle Kugelgrößeninformation“. Unter der letztgenannten Kombination lag den Versuchsteilnehmern keine sensorische Information über die Größe der in Bezug auf ihr Gewicht einzuschätzenden Kugeln vor. Die drei Faktorenstufenkombinationen wurden zu einem gemeinsamen Faktor „Kugelgrößeninformation“ zusammengefasst, der wie folgt dreifach abgestuft war: „Nur haptische Kugelgrößeninformation“, „Nur visuelle Kugelgrößeninformation“ sowie „Keine Kugelgrößeninformation“. Unter

diesen Bedingungskombinationen standen die Daten von dreißig der insgesamt vierzig Versuchsteilnehmer für die weitere statistische Analyse zur Verfügung. Bei einem Vergleich der psychophysischen Gewichtseinschätzungen (in Abhängigkeit von der Größe des jeweils dargebotenen Gewichtes) wurde je nach Sinnesmodalität, in der Information über die Kugelgröße vermittelt wurde, das Kugelvolumen (haptisch) oder Kugeldurchmesser (visuell) verwendet. Für die Faktorenstufe „Nur visuelle Kugelgrößeninformation“ wurden dementsprechend nur die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile über die 57.20 mm-Kugel und die 88.20 mm-Kugel in die Analyse einbezogen. Für die Faktorenstufe „Nur haptische Kugelgrößeninformation“ wurden die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile über die 230 cm<sup>3</sup>-Kugeln und die 359 cm<sup>3</sup>-Kugeln berücksichtigt. Bei den Versuchsteilnehmern, die keine Kugelgrößeninformation bekamen, wurden nach dem Zufall die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile über die 57.20 mm/ 98 cm<sup>3</sup>-Kugeln und die 88.20 mm/359 cm<sup>3</sup>-Kugeln berücksichtigt.

In Abbildung 19 werden die Abhängigkeitsbeziehungen der mittleren psychophysischen Gewichtsurteile von der auf die jeweilige Größenrepräsentation bezogenen relativen Größe der dargebotenen Kugeln unter den drei Faktorenstufen veranschaulicht. Es ist wird deutlich, dass unabhängig von der Modalität der Größenrepräsentation,, die jeweils größere Kugel als leichter und die jeweils kleinere Kugel als schwerer eingeschätzt wurde (Abbildungen 19b und 19c). Unter der Bedingung, unter der keine Information über die Kugelgröße vermittelt wurde, hat die Größe der Kugeln keinen Effekt auf das Gewichtsurteil (Abbildung 19a).

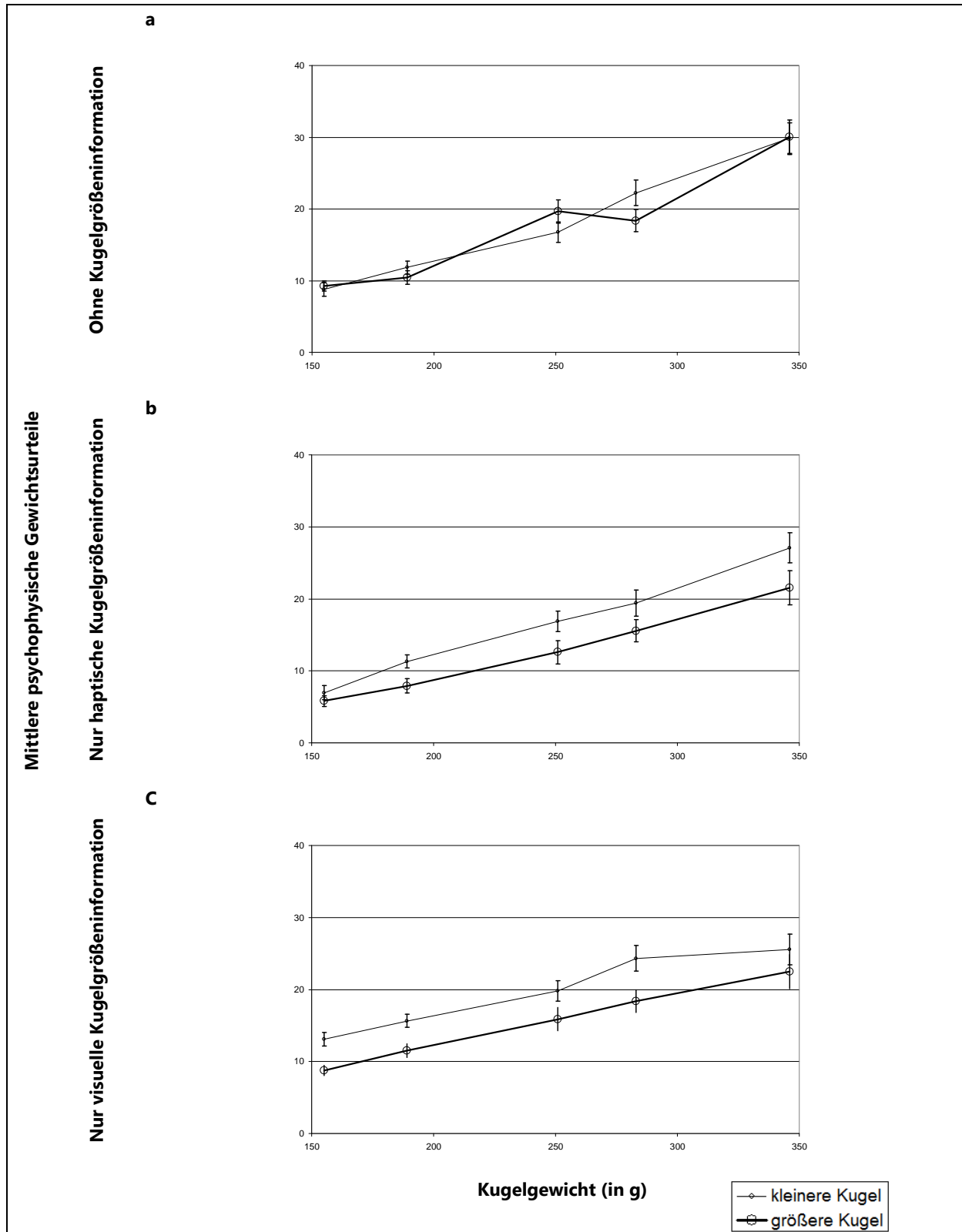


Abbildung 19: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Kugelgrößeninformation sowie von der relativen Kugelgröße („größere Kugel“ waren immer die 88.20 mm-Kugeln, „kleinere Kugel“ waren die 57.20 mm-Kugeln, wenn nur visuelle Kugelgrößeninformation vorlag, ansonsten die 76.00 mm-Kugeln) und vom Kugelgewicht (gemittelt über Durchgänge 1 und 2, N=30, Fehlerbalken sind Standardfehler).

In einer vierfaktoriellen Varianzanalyse mit dem dreifach abgestuften Zufallsgruppenfaktor „Kugelgrößeninformation“ („keine Kugelgrößeninformation“, „nur haptische Kugelgrößeninformation“ und „nur visuelle Kugelgrößeninformation“) sowie den Messwiederholungsfaktoren „Durchgang“ (zweifach abgestuft), „Kugelgewicht“ (fünffach abgestuft) und „relative Kugelgröße“ (zweifach abgestuft: „kleinere Kugel“ und „größere Kugel“) erwiesen sich die Haupteffekte der Faktoren „Kugelgewicht“ ( $F(4,108)=132.899, p<.001, \eta^2=.831$ ) und „relative Kugelgröße“ ( $F(1,27)=30.934, p<.001, \eta^2=.534$ ) sowie die zweifachen Wechselwirkungen der Faktoren „Kugelgewicht“ mit „Kugelgrößeninformation“ ( $F(8,108)=2.759, p<.05, \eta^2=.170$ ), „Kugelgröße“ mit „Kugelgrößeninformation“ ( $F(2,27)=6.062, p<.05, \eta^2=.310$ ) und „Kugelgröße“ mit „Kugelgewicht“ ( $F(4,108)=2.664, p<.05, \eta^2=.090$ ) als signifikant. Die Haupteffekte der Faktoren „Kugelgrößeninformation“ ( $F(2,27)=3.170, p=.058, \eta^2=.190$ ) und „Durchgang“ ( $F(1,27)=2.218, p=.148, \eta^2=.076$ ) waren nicht signifikant. Auch alle anderen hier nicht erwähnten Wechselwirkungen waren statistisch unbedeutsam. Die signifikanten Zusammenhänge werden im Folgenden durch Diagramme veranschaulicht.



Abbildung 20 gibt die Abhängigkeit der Gewichtsurteile vom physikalischen Gewicht der Kugeln wieder. Die mittleren psychophysischen Einschätzungen des Gewichtes nehmen monoton mit dem physikalischen Gewicht des dargebotenen Objektes zu.

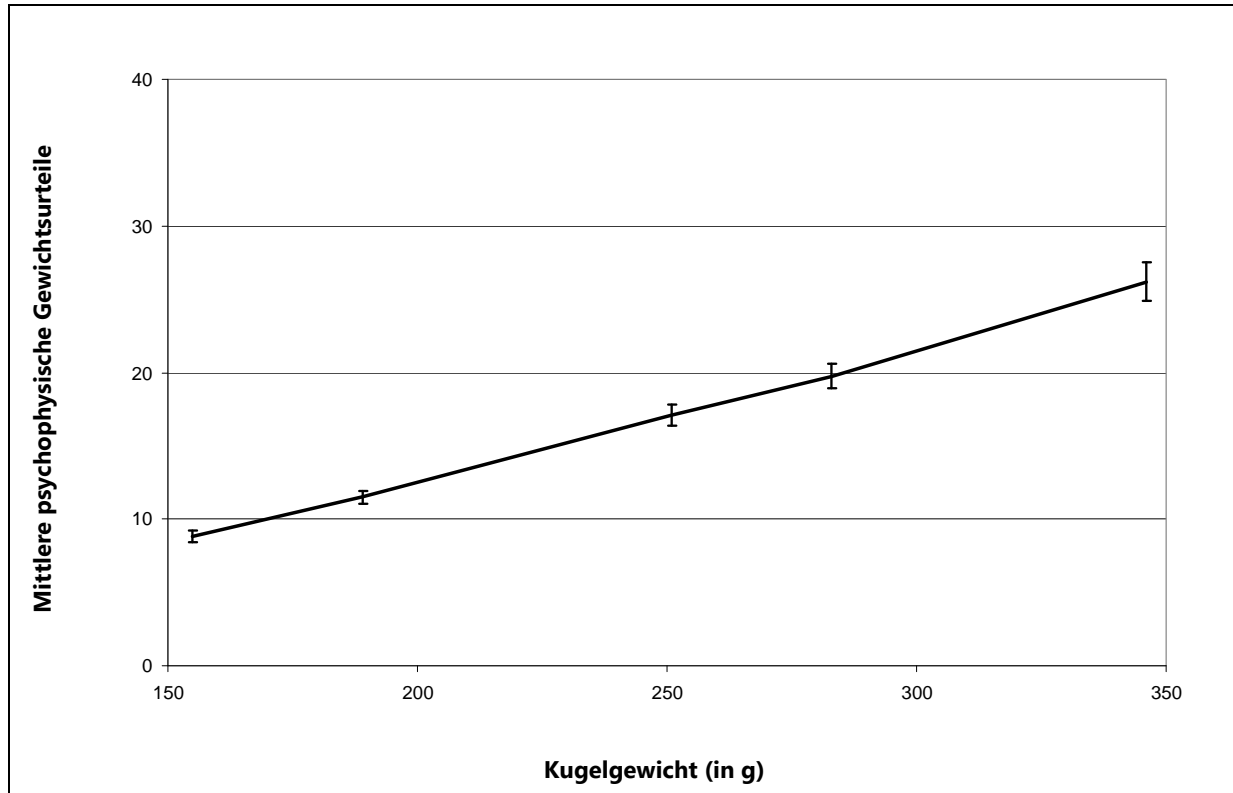


Abbildung 20: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom Kugelgewicht (N=30, Fehlerbalken sind Standardfehler).

In Abbildung 21 wird der Einfluss der relativen Kugelgröße auf die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile veranschaulicht. Hier zeigt sich, dass die jeweils kleinere Kugel im Vergleich mit der größeren Kugel als schwerer beurteilt wird – unabhängig von der Modalität, in der die Information über ihre Größe vermittelt wurde.

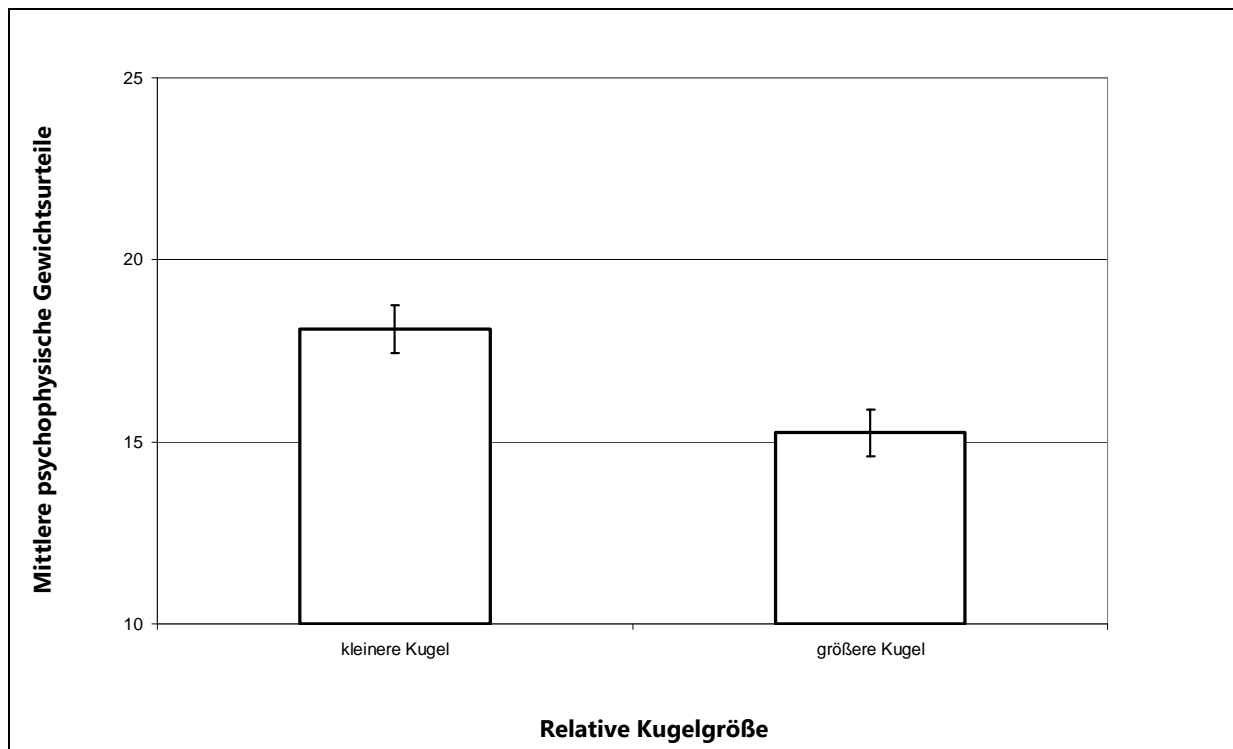


Abbildung 21: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit von der relativen Kugelgröße („größere Kugel“ waren immer die 88.20 mm-Kugeln, „kleinere Kugel“ waren die 57.20 mm-Kugeln, wenn nur visuelle Kugelgrößeninformation vorlag, ansonsten die 76.00 mm-Kugeln; gemittelt über Durchgänge 1 und 2, N=30, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Abbildung 22 zeigt die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile in Abhängigkeit von der relativen Kugelgröße und dem tatsächlichen Kugelgewicht. Hiernach steigt mit zunehmendem Gewicht der Kugeln auch das Gewichtsurteil monoton an, wobei die jeweils kleineren Kugeln durchgängig schwerer als die jeweils größeren Kugeln eingeschätzt werden.

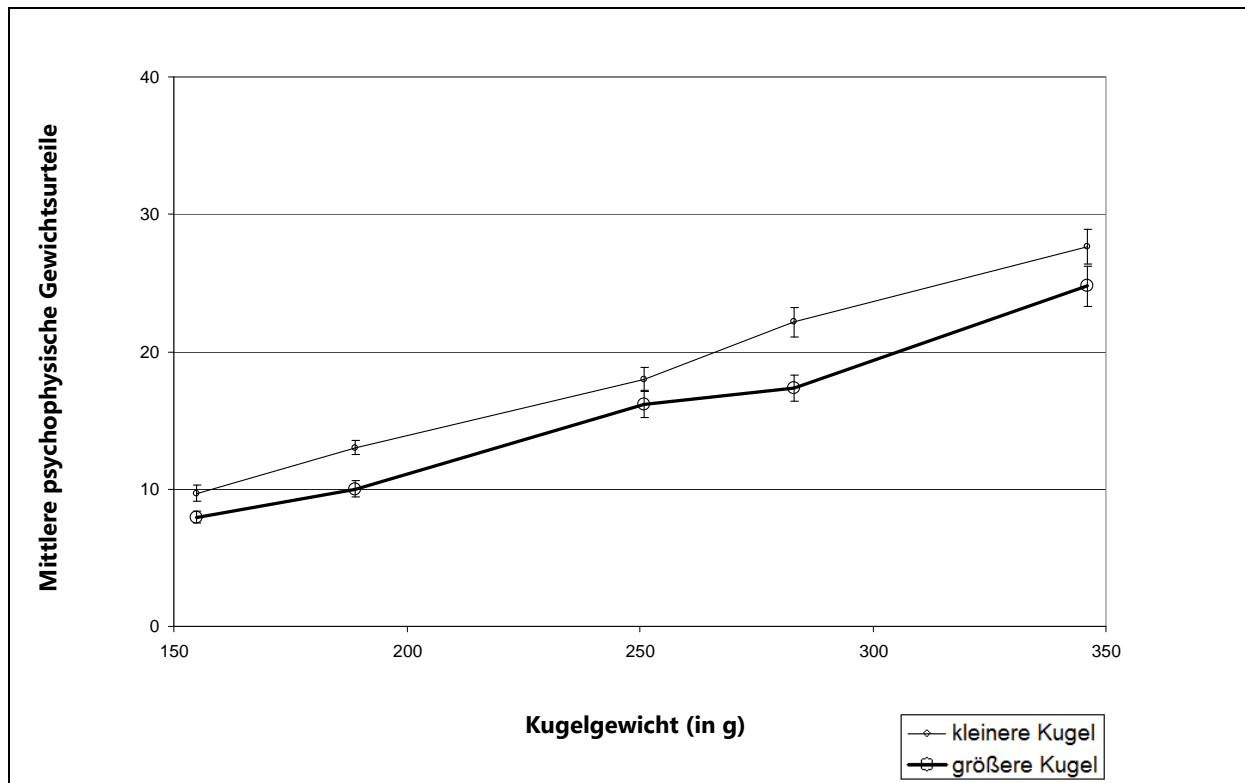


Abbildung 22: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile in Abhängigkeit vom Kugelgewicht sowie der relativen Kugelgröße („größere Kugel“ waren immer die 88.20 mm-Kugeln, „kleinere Kugel“ waren die 57.20 mm-Kugeln, wenn nur visuelle Kugelgrößeninformation vorlag, ansonsten die 76.00 mm-Kugeln; N=30, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Abbildung 23 gibt die mittleren psychophysischen Gewichtsurteile in ihrer Abhängigkeit der relativen Kugelgröße und der Modalität, in der die Information über die Größe der Kugeln vermittelt wurde, wieder. Die Abbildung lässt erkennen, dass die wahrgenommene Kugelgröße – unabhängig davon, in welcher Modalität die Größeninformation vermittelt wurde – einen im Sinne der Größengewichtstäuschung zu erwartenden Effekt hat. Ohne Vermittlung von Information über die Größe der Kugeln ist ein derartiger Effekt nicht sichtbar.

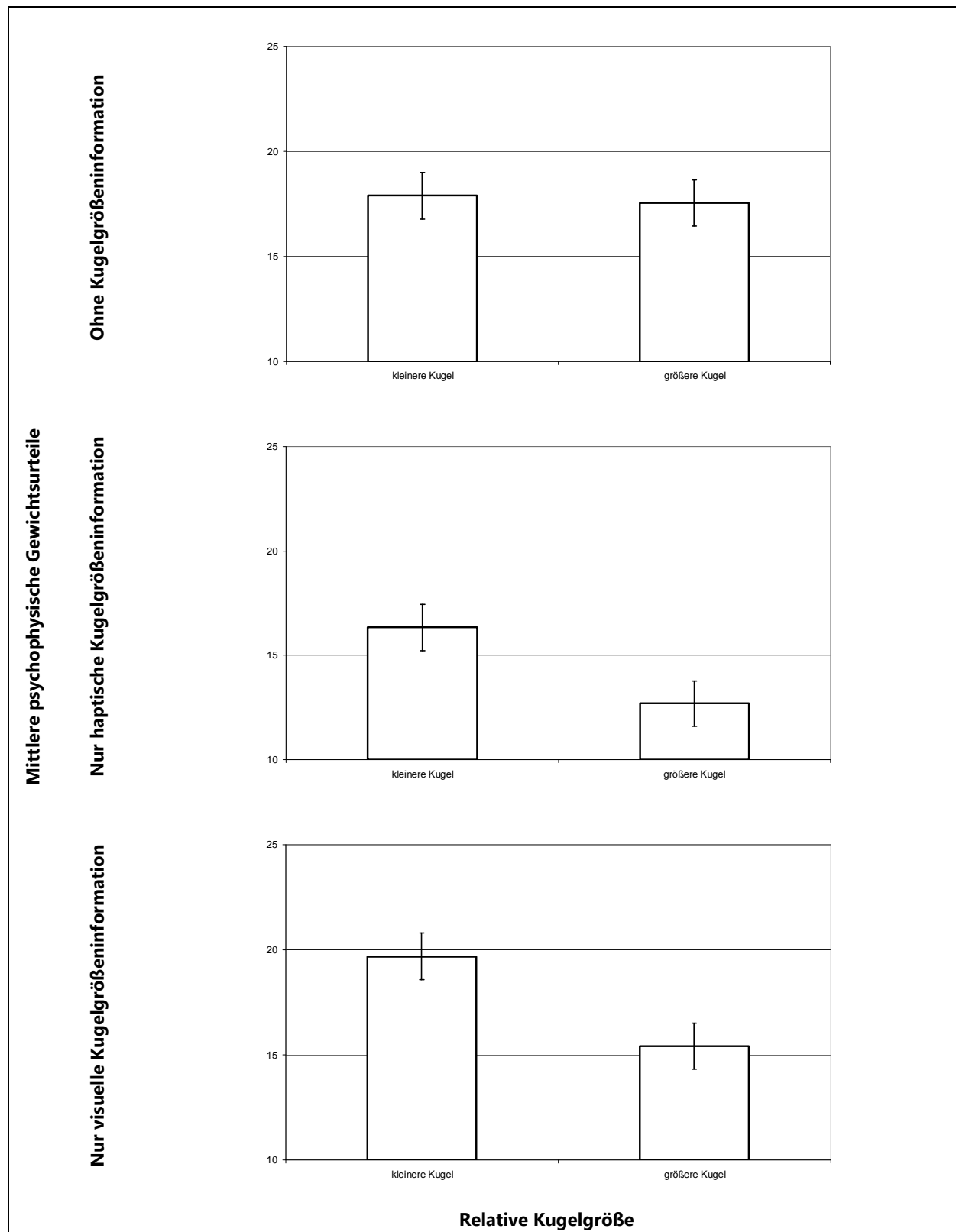


Abbildung 23: Mittlere psychophysische Gewichtsurteile der zur Verfügung stehenden Kugelgrößeninformation sowie von der relativen Kugelgröße („größere Kugel“ waren immer die 88.20 mm-Kugeln, „kleinere Kugel“ waren die 57.20 mm-Kugeln, wenn nur visuelle Kugelgrößeninformation vorlag, ansonsten die 76.00 mm-Kugeln; gemittelt über Durchgänge 1 und 2, N=30, Fehlerbalken sind Standardfehler).

Um die Stärke der Täuschung unter den verschiedenen Bedingungen des Faktors „Kugelgrößeninformation“ zu ermitteln, wurden für die fünf verschiedenen Kugelgewichtsklassen die Steigungskoeffizienten der Geraden „logarithmierte *relative* Kugelgröße gegen logarithmierte korrigierte mittlere Gewichtseinschätzung“ ermittelt. Dabei wurde die jeweils kleinere Kugel mit einem Wert von 100 in die Gleichung einbezogen und die größere Kugel mit einem Wert entsprechend dem prozentualen Unterschied im relevanten Größenhinweisreiz zur kleineren Kugel<sup>13</sup>. So war in der Faktorenstufe, in der nur haptische Kugelgrößeninformation zur Verfügung stand, der Wert für die größere Kugel 156, da die größere Kugel in dieser Bedingung ein um 56% größeres Volumen aufweist. Wenn nur visuelle Kugelgrößeninformation vorlag, war aufgrund ihres um 54% größeren Durchmessers der Wert für die größere Kugel 154. Da unter der Bedingung, unter der keine Kugelgrößeninformation zur Verfügung stand, die 57.20 mm-Kugel die kleinere Kugel war, bekam hier die größere Kugel auch den Wert 154. Wieder beschreiben die Steigungskoeffizienten das Ausmaß der linearen Abhängigkeit der gemittelten Gewichtsurteile von der relativen Größe der zu beurteilenden Kugeln. Die Steigungskoeffizienten tragen ein negatives Vorzeichen als Indiz dafür, dass das Gewichtsurteil mit der relativen Größe der Kugel abnimmt. Der absolute Wert der negativen Koeffizienten ist umso höher, je ausgeprägter dieser Zusammenhang ist.

---

<sup>13</sup> Da die Geraden nun nur noch über jeweils zwei Punkte (mittleres psychophysisches Gewichtsurteil für die in Relation kleinere Kugel und für die größere Kugel) berechnet werden, handelt es sich im engeren Sinn nicht mehr um Regressionsgeraden, sondern um die Gerade durch diese beiden Punkte. Nichts desto trotz: Die Steigung beschreibt die Stärke der Täuschung, wenn sie negativ ist.

Tabelle 15 gibt die ermittelten mittleren Steigungskoeffizienten wieder. Der Tabelle kann man entnehmen, dass die Steigungskoeffizienten bei Darbietung unterschiedlich schwerer Kugeln um den Nullwert liegen, wenn keine Kugelgrößeninformation vorlag. War haptische oder visuelle Kugelgrößeninformation verfügbar, so sind die Steigungen der Regressionsgeraden immer negativ.

Tabelle 15: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Kugelgrößeninformation und vom Kugelgewicht (mittlere Steigung, Standardfehler und Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=30)

Kugelgrößeninformation	Kugelgewicht	Mittlere Steigung der Regressionsgeraden	Standardfehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
keine Größeninformation	155 g	.24	.22	-.21	.68
	189 g	-.36	.22	-.82	.10
	251 g	.34	.28	-.18	.98
	283 g	-.56	.25	-1.06	-.05
	346 g	-.03	.11	-.26	.21
nur haptische Größeninformation	155 g	-.49	.22	-.94	-.05
	189 g	-.81	.22	-1.27	-.35
	251 g	-.73	.28	-1.31	-.16
	283 g	-.57	.25	-1.08	-.07
	346 g	-.55	.11	-.79	-.32
nur visuelle Größeninformation	155 g	-.74	.24	-1.23	-.24
	189 g	-.71	.25	-1.22	-.20
	251 g	-.38	.31	-1.03	.26
	283 g	-.50	.27	-1.06	.07
	346 g	-.25	.13	-.51	.01

Bei einer vollständigen dreifaktoriellen ANOVA der Steigungskoeffizienten mit dem dreistufigen Zufallsgruppenfaktor „Kugelgrößeninformation“ („Ohne Kugelgrößeninformation“, „Nur visuelle Kugelgrößeninformation“, „Nur haptische Kugelgrößeninformation“) sowie den Messwiederholungsfaktoren „Durchgang“ (zweistufig) und „Kugelgewicht“ (fünffach abgestuft) erweist sich einzig der Haupteffekt der Kugelgrößeninformation ( $F(2,27)=5.115$ ,  $p<05$ .,  $\eta^2=.292$ ) als statistisch signifikant. Die Einzelpaarvergleiche zeigen, dass die Darbietung von Information über die Größe der Kugeln einen Effekt hat, die Sinnesmodalität, in der diese Information dargeboten wird, jedoch nicht von Bedeutung ist (Tabelle 16).

Tabelle 16: Einzelpaarvergleiche über die Stufen des Faktors „Kugelgrößeninformation“

Paarweise Vergleiche						
(I) Kugelgrößen- information	(J) Kugelgrößen- information	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig. <sup>a</sup>	95% Konfidenzintervall für die Differenz <sup>a</sup>	
					Untergrenze	Obergrenze
keine Größeninformation	nur haptische Größeninformation	.57 <sup>*</sup>	.19	.01	.19	.95
	nur visuelle Größeninformation	.45 <sup>*</sup>	.20	.03	.05	.86
nur haptische Größeninformation	keine Größeninformation	-.57 <sup>*</sup>	.19	.01	-.95	-.19
	nur visuelle Größeninformation	-.12	.20	.56	-.52	.29
nur visuelle Größeninformation	Keine Größeninformation	-.45 <sup>*</sup>	.20	.03	-.86	-.05
	nur haptische Größeninformation	.12	.20	.56	-.29	.52

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

\*. Die mittlere Differenz ist auf dem .05-Niveau signifikant.

a. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Geringste signifikante Differenz.

Tabelle 17 verdeutlicht diese Unabhängigkeit von der Modalität noch einmal – hier sind die mittleren Steigungskoeffizienten nur in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Information dargeboten. Sie bringen zum Ausdruck, dass eine Größengewichtstäuschung unabhängig von der Modalität, in der die Information über die Größe der Kugel dargeboten wird, besteht.

Tabelle 17: Stärke der Täuschung in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Kugelgrößeninformation (mittlere Steigung, Standardfehler sowie Unter- und Obergrenzen der Konfidenzintervalle der Regressionsgeraden, N=40)

Kugelgrößeninformation	Mittlere Steigung der Regressionsgeraden	Standard- fehler	95% Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
Keine Größeninformation	-.06	.13	-.33	.21
Nur haptische Größeninformation	-.63	.13	-.90	-.36
Nur visuelle Größeninformation	-.52	.15	-.82	-.21

## 2.3 Diskussion

Die berichteten Befunde bestätigen auf den ersten Blick einen Modalitätseffekt bei der Größengewichtstäuschung: Die Täuschungsstärke ist größer bei Darbietung der Objektgrößeninformation in der haptischen als in der visuellen Modalität. Auf den zweiten Blick machen sie aber deutlich, dass dieser Effekt auf eine Konfundierung mit der modalitätsspezifischen Objektgrößenrepräsentation zurückgeht, denn die Größenunterschiede zwischen den zu vergleichenden Gewichtsobjekten sind nicht miteinander vergleichbar, wenn die Information über ihre Größe haptisch oder visuell vermittelt wird.

Bei haptischer Darbietung der Information über die Größe der kugelförmigen Gewichtsobjekte zeigte sich in den erhobenen psychophysischen Gewichtsurteilen eine ausgeprägte Größengewichtstäuschung. Bei visueller Darbietung der Größeninformation war das Täuschungsmuster kaum erkennbar. Dies steht in Einklang mit den Befunden der Studie von Pick und Pick (1967). In ihrer Untersuchung, in der sie das Gewicht von zylinderförmigen Gewichtsobjekten beurteilen ließen, war das Täuschungsphänomen am stärksten ausgeprägt, wenn den Versuchsteilnehmern nur haptische Information über die Größe der Gewichtsobjekte zur Verfügung stand. Bei visueller Größeninduktion war die Täuschung deutlich schwächer ausgeprägt<sup>14</sup>. Aus Sicht der Autoren ist dies darauf zurückzuführen, dass die Informationsintegration bei haptisch vermittelter Größeninformation mit der Information über die Schwere des Gewichtes in ein und derselben Modalität (nämlich in der haptischen) erfolgt, während bei visuell vermittelter Größeninformation eine crossmodale Informationsintegration (visuell/haptisch) erforderlich ist. Wird die Objektgrößeninformation in derselben Modalität vermittelt, in der auch die

---

<sup>14</sup> Jedoch stellten Pick und Pick in ihrer Untersuchung keine Kontrollbedingung her, unter der den Versuchsteilnehmern während des Hebevorganges keine Größeninformation über die Zylinder zur Verfügung stand. Daher lässt sich nicht feststellen, ob die Gewichtsurteile unter der rein visuellen Bedingung tatsächlich von denen unter einer solchen Kontrollbedingung verschieden gewesen wären. Somit bleibt letzten Endes auch unklar, ob Pick und Pick (1967) tatsächlich ein visuell induziertes Täuschungsphänomen gefunden haben.



Objektgewichtsinformation gegeben ist, so kommt es zu einer stärkeren Informationsintegration von Größen- und Gewichtsinformation, aus der das Täuschungsphänomen resultiert.

Auch Ellis und Lederman (1993) halten die Größengewichtstäuschung für ein primär haptisch induziertes Phänomen<sup>15</sup>. Sie ließen ihre Versuchsteilnehmer das Gewicht von kubusförmigen Objekten einschätzen und nutzten als psychophysisches Verfahren wie in der vorliegenden Anordnung die Größenverhältnisschätzmethode – sie setzten jedoch eine Variante ein, bei der den Versuchsteilnehmern vor jeder Gewichtseinschätzung ein Vergleichskubus als Anker dargeboten wurde. Ellis und Lederman berichten ebenfalls von einer ausgeprägten haptisch induzierten Größengewichtstäuschung und einer nur schwachen visuell induzierten Täuschung. Auch sie erklären diesen Befund mit einer stärkeren Beeinflussung der Gewichtsempfindung bei homomodaler als bei heteromodaler Darbietung der Größeninformation: „It might be the case that a visual representation loses some of its strength or relevance when used along with the haptic representation of weight as a factor in weight estimation. In effect, the connection between the haptic weight representation and the visual volume representation may be weaker than the connection between haptic weight and haptic volume representation“ (Ellis & Lederman, 1993, S. 323).

Der von den Pick und Pick (1967) und Ellis und Ledermann (1993) berichtete Modalitätseffekt ist aber offenbar das Ergebnis einer Konfundierung mit den modalitätsspezifischen Unterschieden in der Objektgrößenrepräsentation – die Befunde der vorliegenden Untersuchung machen dies sehr deutlich. Sie zeigen, dass die wahrgenommenen Größenunterschiede der Gewichtsobjekte einen Einfluss auf das Ausmaß der Größengewichtstäuschung haben, wenn bei der Analyse der Gewichtsurteile angenommen wurde, dass bei rein haptischer Darbietung der als

---

<sup>15</sup> Ellis und Lederman bezeichnen die Größengewichtstäuschung als „primär haptisches Phänomen“ („the size-weight-illusion is primarily a haptic phenomenon“, Ellis und Lederman, 1993, S.322).

Gewichtsobjekte eingesetzten Kugeln das Volumen die wahrgenommene Objektgröße bestimmt, während bei ausschließlich visueller Darbietung der Kugeldurchmesser der relevante Größencue ist. In einer Analyse der mittleren psychophysischen Gewichtsurteile wurde die Täuschungsstärke unter Wahrnehmungsbedingungen mit ausschließlich visueller Objektgrößeninformation und mit ausschließlich haptischer Objektgrößeninformation berechnet. Im Ergebnis zeigte sich kein Unterschied in der Täuschungsstärke, wenn die Größenverhältnisse der Vergleichsobjekte in Bezug auf den jeweiligen modalitätsspezifischen Größenhinweisreiz in beiden Modalitätsbedingungen annähernd gleich waren.

Den Schlussfolgerungen von Pick und Pick (1967) sowie Ellis und Lederman (1993), dass es sich bei der Größengewichtstäuschung um ein rein haptisch induziertes Täuschungsphänomen handele, widersprechen die hier erhobenen Daten. Ihren Schlussfolgerungen widersprechen aber bei genauerer Betrachtung schon ihre eigenen Befunde. So gehen Ellis und Ledermann offenbar davon aus, dass sich die wahrgenommene Größe ihrer kubusförmigen Gewichtsobjekte unabhängig von der Modalität, in der die Größeninformation vermittelt wurde, am Volumen der Objekte orientiert. Anzunehmen ist demgegenüber, dass das Volumen der Kuben nur unter der haptischen Bedingung der relevante Größencue ist, und möglicherweise die Kantenlänge oder die Fläche der Kuben unter der visuellen Bedingung den Größencue bilden. Die wahrgenommenen Größenunterschiede der Kuben unterscheiden sich aber bei haptischer und visueller Darbietung der Objekte beträchtlich voneinander. So ist beispielsweise ein Kubus mit einer Kantenlänge von 10.00 cm in Bezug auf seine Kantenlänge doppelt so groß wie ein Kubus mit einer Kantenlänge von 5.00 cm. Vergleicht man diese beiden Kuben jedoch hinsichtlich ihres Volumens, so ist der große Kubus mit  $1000 \text{ cm}^3$  acht mal größer als der kleine Kubus mit  $125 \text{ cm}^3$ .

Auch die Befunde von Pick und Pick (1967) lassen sich möglicherweise auf eine modalitätsspezifische Konfundierung zurückführen. Sie ließen ihre Versuchsteilnehmer das Gewicht von zylinderförmigen Gewichtsobjekten beurteilen, machen aber in ihrem Artikel keine Angaben darüber, welches Merkmal der Objekte ihrer Meinung nach der relevante Größencue war. Unter der haptischen Bedingung konnte dies das Volumen der Zylinder, unter der visuellen Bedingung der Durchmesser oder die Höhe der Zylinder sein.

Während weder bei Pick und Pick (1967) noch bei Ellis und Lederman (1993) die modalitätsspezifisch wahrgenommenen Größenverhältnisse zwischen kleineren größeren Gewichtsobjekten berücksichtigt worden sind, konnte die Art der Größenrepräsentation der Gewichtsobjekte in der vorliegenden Untersuchung durch Verwendung von ausgesuchten kugelförmigen Gewichtsobjekten kontrolliert werden. Tabelle 18 verdeutlicht die Unterschiede in den modalitätsspezifischen Größenverhältnissen der Gewichtsobjekte, wie sie in den experimentellen Anordnungen von Ellis und Lederman (1993), Pick und Pick (1967) sowie in der vorliegenden Untersuchung verwendet wurden. In der Tabelle ist jeweils das wahrgenommene Größenverhältnis zwischen kleinstem und größtem Gewichtsojekt bei Verwendung unterschiedlicher Größencues dargestellt.

Tabelle 18: Wahrgenommene Größenverhältnisse zwischen kleinstem und größtem Gewichtsobjekt bei Verwendung unterschiedlicher Größencues in den experimentellen Anordnungen von Pick und Pick (1967), Ellis und Lederman (1993) sowie im vorliegenden Experiment.

Pick und Pick (1967)			
	Visuelle Modalität		Haptische Modalität
	(Höhe)	(Durchmesser)	(Volumen)
Größe der Zylinder	5.50 cm	3.00 cm	122 cm <sup>3</sup>
	bis	bis	bis
	8.00 cm	4.00 cm	316 cm <sup>3</sup>
Größenverhältnis kleinster zu größter Zylinder	1 : 1.46	1 : 1.34	1 : 2.59
Ellis und Lederman (1993)			
	Visuelle Modalität		Haptische Modalität
	(Kantenlänge)		(Volumen)
Größe der Kuben	5.20 cm		149 cm <sup>3</sup>
	bis		bis
	20.50 cm		8615 cm <sup>3</sup>
Größenverhältnisse kleinster zu größter Kubus	1 : 1.81		1 : 57.82
Vorliegendes Experiment: Analyse ohne Berücksichtigung der modalitätsspezifischen Größenhinweisreize			
	Visuelle Modalität		Haptische Modalität
	(Durchmesser)		(Volumen)
Größe der Kugeln	57.20 mm		98 cm <sup>3</sup>
	bis		bis
	88.20 mm		359 cm <sup>3</sup>
Größenverhältnisse kleinste zu größte Kugel	1 : 1.54		1 : 3.66
Vorliegendes Experiment: Analyse unter Berücksichtigung der modalitätsspezifischen Größenhinweisreize			
	Visuelle Modalität		Haptische Modalität
	(Durchmesser)		(Volumen)
Größe der Kugeln	57.20 mm		230 cm <sup>3</sup>
	und		und
	88.20 mm		359 cm <sup>3</sup>
Größenverhältnisse kleine zu große Kugel	1 : 1.54		1 : 1.56

Die aufgeführten Größenverhältnisse machen deutlich, dass die Modalität, in der die Gewichtobjekte dargeboten wurden, meist konfundiert ist mit Unterschieden in den wahrgenommenen Größenverhältnissen der in unterschiedlichen Modalitäten dargeboten Vergleichsobjekte. So beträgt beispielsweise das Größenverhältnis zwischen dem kleinsten und dem größten Kubus in der Anordnung von Ellis und Lederman in der visuellen Modalität 1 zu 1.81, und in der haptischen Modalität 1 zu 57.82. Bei Pick und Pick beträgt das Größenverhältnis von kleinstem zu größtem Zylinder in der haptischen Modalität 1 zu 2.59, während sich in der visuellen Modalität das Verhältnis auf nur 1 zu 1.34 beläuft, wenn der angenommene relevante Größencue der Durchmesser des Zylinders ist. Der GröÙeunterschied zwischen kleinerem und größerem Gewichtobjekt ist jedoch von hoher Wichtigkeit für das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung: So haben Kawai et al. (2007) gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit der Täuschung zu erliegen mit dem Ausmaß des Größenunterschiedes der Vergleichsobjekte zunimmt.

Eine graphische Reanalyse des Befundes von Ellis und Ledermann (1993), bei der nicht die Volumina sondern die Kantenlängen der Gewichtobjekte verwendet werden, zeigt, dass in der Tat die Annahme unterschiedlicher Größencues zu unterschiedlichen Zusammenhangsverhältnissen zwischen Gewichtsurtel und Objektgröße führt (Abbildung 24). Die Abbildung macht deutlich, dass die Steigungen der Regressionsgeraden als Ausdruck der Täuschungsstärke je nach verwendetem visuellem Größencue variieren: Die hypothetische Regressionsgerade 1 auf Basis der Kantenlänge weist eine deutlich stärkere negative Steigung auf als die von den Autoren berichteten Regressionsgeraden (Regressionsgerade 3). Der Stärkenunterschied zwischen visuell und haptisch induzierter Täuschung (Regressionsgerade 2), wie Ellis und Ledermann ihn dargestellt hatten, verringert sich somit deutlich.

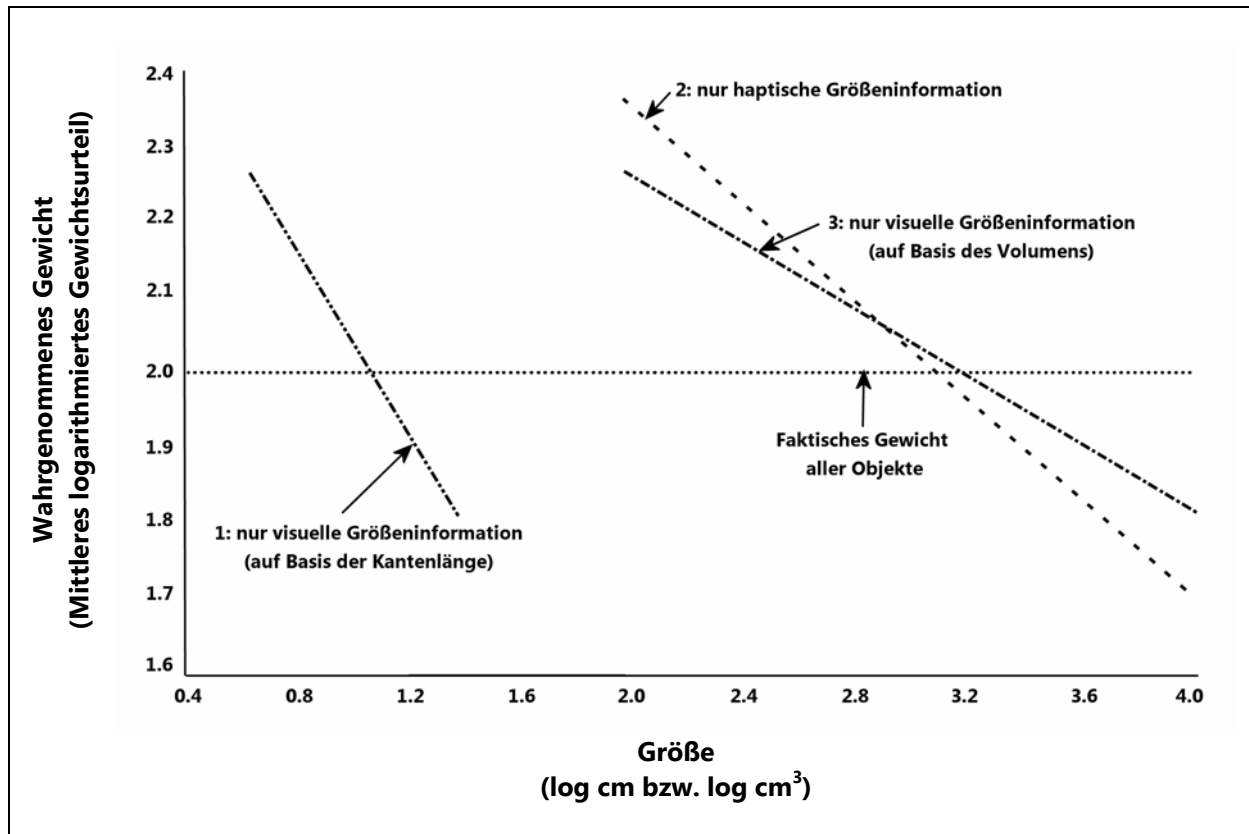


Abbildung 24: Reanalyse des Befundes von Ellis und Lederman (1993): Wenn die Kantenlänge (Regressionsgrade 1) zur Grundlage genommen wird, nähert sich die Steigung der hypothetischen Geraden deutlich der Steigung der Geraden der Bedingung an, in der nur haptische Stimulusgrößeninformation vorlag (Grade 2), und ist deutlich verschieden von der Geraden, der auf Basis des Volumens berechnet wurde (Grade 3). (Die Geraden der Bedingungen, unter der keine Stimulusgrößeninformation gegeben wurde oder unter der die Stimulusgrößeninformation in beiden Modalität vorlag wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit entfernt; auf Basis von Ellis & Lederman, 1993, S.320).

Die von Ellis und Lederman (1993) aufgestellte Behauptung, die Größengewichtstäuschung sei ein primär haptisch induziertes Phänomen, lässt sich somit nach einer Reanalyse ihrer Daten nicht mehr aufrechterhalten: Wenn die visuell und die haptisch vermittelten Größenunterschiede zwischen den Gewichtsobjekten gleich sind, so deutet sich an, dass das Täuschungsphänomen unabhängig ist von der Modalität, in der die Information über die Größe des Gewichtsobjektes gegeben wird.

Eine Festlegung auf wirksame visuelle Größencues bei Darbietung von Zylindern in der Untersuchung von Pick und Pick (1967) und der Darbietung von Kuben in der Untersuchung von Ellis und Lederman (1993) ist nicht möglich. Ihre Gewichtsobjekte sind nicht dazu geeignet, einen Modalitätseffekt bei der Größengewichtstäuschung nachzuweisen. Bei visueller Darbietung derartiger Objekte verändert sich auch die visuelle Objektrepräsentation mit dem Blickwinkel des Betrachters auf das Objekt: Es lässt sich nicht kontrollieren, wie viele Flächen und Kanten des Objektes beim Heben gesehen werden. Dieses Problem stellt sich nicht bei der Verwendung von Kugeln als Gewichtsobjekte.

Auch bei haptischer Vermittlung der Objektgrößeninformation eignen sich die von den genannten Autoren verwendeten Objekte wenig. So hat der größte von Ellis und Lederman (1993) als Gewichtsobjekt verwendete Kubus bei einem Volumen von  $8615 \text{ cm}^3$  eine Kantenlänge von mehr als 20 cm. Er ist mit einer Hand nicht zu umgreifen. Es müssen daher Zweifel daran angemeldet werden, ob das Volumen eines solch großen Objektes bei haptischer Darbietung überhaupt verlässlich zu erfassen war. An der Versuchsanordnung von Pick und Pick (1967) ist einer weiterer Punkt kritisch: Unter der Bedingung, unter der die Größeninformation nur visuell und nicht gleichzeitig haptisch vermittelt wurde, hatten die Versuchsteilnehmer die Zylinder an Fäden hoch zu heben. Dabei können die Objekte ins Schwingen geraten. Das Schwingen eines Objektes kann jedoch, wie Amazeen und Turvey (2006) gezeigt haben, einen Einfluss auf die Gewichtseinschätzung haben. Hiernach unterscheiden sich die beiden Anordnungen, die Pick und Pick (1967) bei visueller und haptischer Vermittlung der Größeninformation verwendet haben, in relevanter Weise. Dieser Unterschied in den Anordnungen wird in der vorliegenden Untersuchung ausgeschlossen. Es war keine zusätzliche Apparatur von Nöten, die eventuell einen Einfluss auf die zum Heben der Gewichtsobjekte benötigten Energie haben könnte (wie möglicherweise das von Ellis & Lederman, 1993, genutzte „wooden framework“), noch mussten die Gewichtsobjekte an Bändern oder Schnüren hochgehoben werden. Darüber hinaus waren einige der kugelförmigen Gewichtsobjekte so ausgewählt

worden, dass die Größenverhältnisse zwischen kleinerem und größerem Gewichtsojekt bei visueller und haptischer Darbietung der Objekte annähernd identisch waren und somit der Durchmesser respektive das Volumen der Kugeln als Großenhinweisreiz bei der Berechnung der Täuschungsstärke verwendet werden konnte. Hierdurch war es erstmalig möglich, die Existenz eines Modalitätseffektes für ein breites Spektrum von Objektgewichten (von 155 g bis 346 g) und -größen (von 55.20 mm Durchmesser bzw. 98 cm<sup>3</sup> Volumen bis zu 88.20 mm Durchmesser bzw. 359 cm<sup>3</sup>) experimentell zu überprüfen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen in aller Deutlichkeit, dass es keinen Modalitätseffekt bei der Größengewichtstäuschung gibt, wenn sichergestellt ist, dass die wahrgenommenen Größenverhältnisse der zu vergleichenden Gewichtsojekte in den jeweiliger Sinnesmodalität, in der die Information über die Größe vermittelt wird, gleich sind. Bei gleichzeitiger Darbietung von Information über die Größe der Gewichtsojekte in verschiedenen Modalitäten wird die Täuschung von der Größeninformation in derjenigen Modalität bestimmt werden, in der die wahrgenommenen Größenunterschiede zwischen den Objekten am größten sind, oder aber von der Information, die momentan die größte Salienz besitzt. Die von Ellis und Lederman (1993) in Zusammenhang mit der Erklärung der Täuschung durch die Informationsintegrationstheorie (Anderson, 1970a, 1970b) gestellte Frage „If both modalities assess volume equally well [...] why should different input modalities produce unequal strength?“ kann nach den vorliegenden Befunden nicht mehr gestellt werden.



### 3 Synopsis

Die Größengewichtstäuschung resultiert offenbar aus der Integration (vgl. Anderson, 1970a, 1970b) von Information über die Objektgröße und Information über das Objektgewicht bei der Beurteilung des Gewichtes von gleich schweren, aber unterschiedlich großen und einander ähnlichen Objekten. Im Folgenden wird ein Modell der Gewichtswahrnehmung (Kawai et al., 2007) vorgestellt, das die in der Literatur berichteten Befunde zur Größengewichtstäuschung integriert. Das Modell macht unter anderem deutlich, dass der wahrgenommenen und nicht der physikalischen Größe des Objektes die zentrale Rolle bei der Entstehung der Größengewichtstäuschung zukommt. Es wird aufgezeigt, wie sich der in der vorliegenden Arbeit präsentierte Befund (wonach die Modalität, in der die Objektgröße wahrgenommen wird, für das Entstehen der Größengewichtstäuschung nicht von Belang ist) in das Modell einfügt. Danach wird auf weitere, möglicherweise noch nicht hinreichend untersuchte Faktoren hingewiesen, die einen Einfluss auf die Ausprägung der Täuschung haben: Die *Eindringlichkeit* der Wahrnehmung und das Ausmaß der zeitlichen *Synchronisation* des täuschungserleidenden Teils (Objektgewicht) und des täuschungsinduzierenden Teils (Objektgröße) der Wahrnehmungsvorlage. Den Effekt dieser Faktoren zeigen Befunde von Heineken und Schulte (2007a, 2007b) in Virtual Reality-Experimenten. In einem abschließenden Ausblick werden weitere Chancen skizziert, die im Einsatz von VR-Technologie bei der experimentellen Erforschung intermodaler Täuschungsphänomene liegen.

In einem konzeptuellen Modell der Gewichtswahrnehmung (Abbildung 25) veranschaulichen Kawai et al. (2007) das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung. In ihrem Modell bringen sie zum Ausdruck, dass die Täuschung durch die Induktion von Information über die Größe der Gewichtsobjekte aus dem perzeptuellen System resultiert und durch kognitive Faktoren modifiziert werden kann: „The size–weight illusion may be basically and systematically induced

by neural integration of visual or haptic information about size and sensorimotor information about weight, and may then be modified by highly cognitive factors such as expectation, experience or rationalization." (Kawai et al., 2007, S. 455).

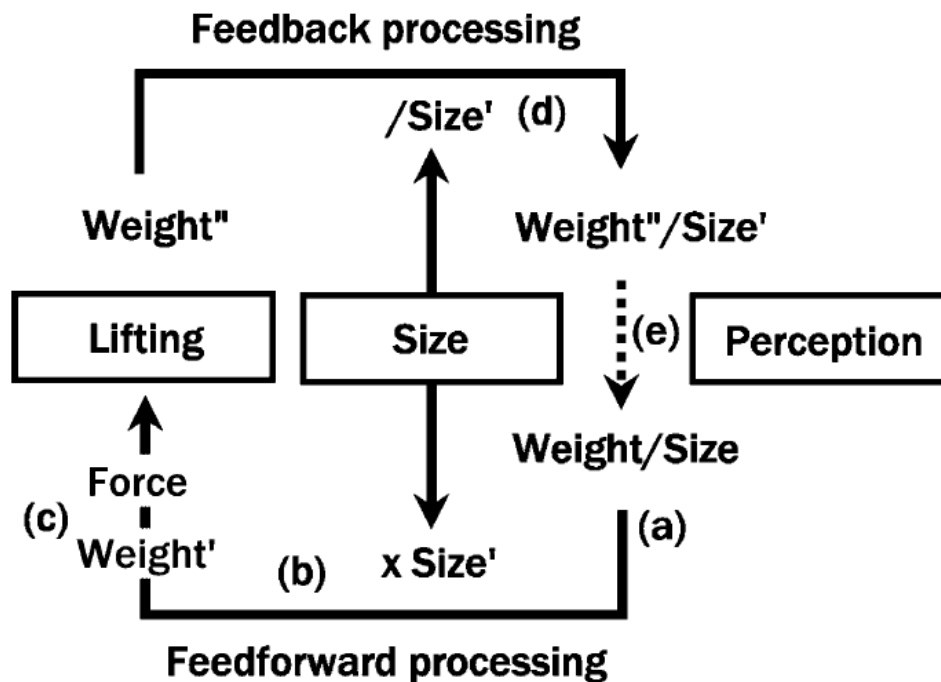


Abbildung 25: Erklärung der Größengewichtstäuschung in einem konzeptuellen Modell der Gewichtswahrnehmung nach Kawai et al. (2007): Objektgröße *Size* und Objektgewicht *Weight* werden zu einem der Dichte ähnlichen Konzept der Objektschwere *Weight/Size* verrechnet und sind Grundlage für neue Hebevorgänge (a). Während der Handlungsplanung wird die gerade wahrgenommene Größe *Size'* (b) aus der Objektschwere herausgerechnet, und es bleibt *Weight'* (c) übrig, das zur Grundlage der motorischen Handlung wird. Die wahrgenommene Größe *Size'* (d) und das wahrgenommene Gewicht *Weight''* werden nach dem Hebevorgang zum neuen *Weight/Size* und ggf. mit dem alten *Weight/Size* abgeglichen (aus Kawai et al., 2007, S. 455).

Grundannahme dieses Modells ist, dass die „Schwere“ eines Objektes<sup>16</sup> nicht durch das Gewicht des Objektes sondern durch ein kombiniertes, dem Konzept der Dichte ähnlichen Konstrukt aus Gewicht und Größe mental repräsentiert ist. Diese Repräsentation der Objektschwere resultiert aus der Wahrnehmung des Objektgewichtes in Relation zur Objektgröße (*Weight/Size*; a in Abbildung 25), wobei das zu hebende Objekt Ähnlichkeit mit einem vorher gehobenen Objekt haben

<sup>16</sup> Der Begriff der „Schwere“ wurde hier als deutsche Entsprechung des von Kawai et al. (2007) genutzten englischen Begriffes „heaviness“ und in Abgrenzung vom Begriff „Gewicht“ („weight“) gewählt.

muss<sup>17</sup>. Die Schwererepräsentation basiert auf Wissen, das während eines Hebevorganges generiert wurde, der unmittelbar vor dem gerade anstehenden Hebevorgang erfolgte. Daher befindet sich das Wissen über diesen Hebevorgang und das darin involvierte Objekt im Arbeitsgedächtnis befindet. Diese mentale Repräsentation wird unmittelbar vor einem anstehenden Hebevorgang mit der aktuell zur Verfügung stehenden Objektgrößeninformation (Size'; b) gewichtet. Der dann zur Verfügung stehende Wert Weight' repräsentiert das erwartete Objektgewicht und wird im Modell verwendet, um in der Planungsphase („feedforward processing“) die motorischen Kommandos an die Muskeln des Arms und der Hand zu senden (Force; c) und den Hebevorgang zu initiieren.

Die Größengewichtstäuschung kommt bei objektiv gleich schweren, aber unterschiedlich großen Vergleichsobjekten dadurch zustande, dass die Größe Size' (also die wahrgenommene Größe des aktuell zu hebenden Objektes) ungleich dem Größenwert (Size) des in der Vergangenheit gehobenen, aber gleich schweren Objektes ist. Daher wird der Wert des aktuell erwarteten Gewichtes (Weight') nicht identisch mit dem des früher erfahrenen Gewichtes (Weight) sein. Dies verdeutlicht die folgenden Beispielrechnung: Angenommen, es wurde eine Kugel von 100 g Gewicht und 100 mm Durchmesser gehoben, dann ergibt sich in dem Modell eine Objektschwere von 1 g/mm, welche die Grundlage für den folgenden Hebevorgang bildet (Objektgewicht (100g)/Objektgröße (100mm)=1 g/mm). Nun wird eine weitere Kugel gehoben, die faktisch gleich schwer ist, aber nur einen Durchmesser von 50 mm Durchmesser aufweist. Wird dieser Objektgrößenwert in die vorhandene Objektschweregleichung eingesetzt, so ergibt sich ein erwartetes Gewicht von 50 g (Objektgewicht (x)/Objektgröße(50 mm) = Objektschwere (1 g/mm) ⇔ Objektgewicht(x) = Objektschwere (1 g/mm) \* Objektgröße (50mm) = 50g). Der Wert, der die für das Heben einer solchen Kugel eingesetzte Muskelkraft repräsentiert, ist

---

<sup>17</sup> Wenn das zu hebende Objekt dem vorher gehobenen Objekt nicht ähnelt, dann kann die Schwererepräsentation auch als Weltwissen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden. Es wird dann aber nicht zu einer Größengewichtstäuschung kommen, da es sich um anschaulich unterschiedliche Objekte handelt.

dann zu gering, um die 100 g-Kugel erfolgreich zu heben. Er muss erhöht werden, was nach Kawai et al. (2007) zu dem Eindruck führt, die Kugel weise eine höhere Objektschwere auf. Bei dieser „Errechnung“ des voraussichtlichen Gewichtes des zu hebenden Objektes spielen im Modell von Kawai et al. (2007) höhere kognitive Prozesse keine Rolle: „Thus, the weight information of a target object can be accurately computed prior to lifting whether it is larger or smaller without any cognitive processes“ (Kawai et al., 2007, S. 454).

Während und nach dem Heben des Objektes werden in der Feedbackverarbeitung („feedback processing“) die Größen „wahrgenommenes Gewicht“ ( $Weight''$ ) und „wahrgenommene Objektgröße“ ( $Size'$ ; d) aufeinander bezogen ( $Weight''/Size'$ ; e). Die neue Repräsentation der Objektschwere ( $Weight''/Size'$ ) wird gegebenenfalls mit der nun veralteten, aber sich immer noch im Arbeitsgedächtnis befindlichen Repräsentation der Objektschwere  $Weight/Size$  verglichen. Zu diesem Zeitpunkt entsteht dann der Eindruck, das aktuell gehobene Objekt sei schwerer oder leichter als das zuvor gehobene Objekt. In diesem Fall wird die neue Repräsentation der Objektschwere ( $Weight''/Size'$ ) zur neuen, aktualisierten mentalen Objektschwererepräsentation  $Weight/Size$ . In dem Modell wird deutlich, dass die wahrgenommene und nicht die physikalische Größe des Gewichtesobjektes die eigentliche Determinante der Größengewichtstäuschung ist. Die Objektgrößeninformation wird in dem Modell in der Feedforward-Phase zur Handlungsplanung und in der Feedback-Phase zur Erzeugung einer aktualisierten mentalen Objektschwererepräsentation verwendet.

Wenn im Alltag Objekte gehoben werden, dann lassen sich diese vor dem Heben und Einschätzen ihres Gewichtes nicht nur anschauen sondern auch ergreifen. Es steht dann sowohl visuell als auch haptisch vermittelte Objektgrößeninformation oder (wenn das Objekt gegriffen wird, ohne dass es angeschaut wird) auch nur haptisch vermittelte Objektgrößeninformation zur Verfügung. Kawai et al. (2007) gehen in ihrem Modell zwar davon aus, dass es sich bei der Modellgröße  $Size'$  um die visuell

wahrgenommene Objektgröße handelt: „This internal model [...] is integrated in a multiplication process with the visual size cues [...] in the process of grasping and lifting phase [...], resulting in only weight information being extracted“ (Kawai et al., 2007, S. 454), dies hat aber damit zu tun, dass die Autoren nur die visuell induzierte Größengewichtstäuschung untersucht haben. Dass die Größengewichtstäuschung auch durch haptisch vermittelte Information über die Größe des Gewichtsobjektes induziert werden kann, hat schon Carpentier (1891; vgl. Flournoy, 1894) berichtet. Die Ergebnisse der Experimente von Ellis und Lederman (1993) und Pick und Pick (1967) sowie die Befunde der vorliegenden Arbeit stehen damit in Einklang. Offenbar reicht schon das kurze Umschließen eines Objektes mit den Fingern aus, um aus die erforderliche Information zu erhalten, die es erlaubt, aus der mentalen Repräsentation der Objektschwerere das erwartete Objektgewicht Weight' zu „berechnen“. In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die visuell induzierte Größengewichtstäuschung sich in Bezug auf ihre Stärke nicht von der haptisch induzierten Täuschung unterscheidet; letztere wiederum ist ebenso stark ist wie das Täuschungsphänomen, das auftritt, wenn Größeninformation in beiden Modalitäten simultan dargeboten wird. Es ist also unerheblich, ob die Größeninformation size' ausschließlich visuell oder ausschließlich haptisch oder sowohl visuell als auch haptisch vermittelt wird. Dieser Befund fügt sich in das Modell von Kawai et al. (2007) gut ein.

Auch Effekte kognitiver Faktoren auf die Ausprägung der Größengewichtstäuschung lassen sich in das Kawai-Modell integrieren. Mon-Williams und Murray (2000) gehen davon aus, dass es im Moment des Hebens eines Objektes zu einem mentalen Prozess des Erklärens der Diskrepanz zwischen dem auf Basis eines erwarteten Objektgewichtes und der zum Heben des Objektes aufgewandten Muskelkraft kommt. J. Ross (1969) dagegen sieht die Ursache für die Größengewichtstäuschung in der Formulierung einer Erwartung über das Objektgewicht auf Basis der wahrgenommenen Größe des Objektes. Unabhängig davon, ob solche höheren kognitiven Prozesse wie Erwartungen oder Erklärungen für das Zustandekommen der

Größengewichtstäuschung verantwortlich sind oder nicht, muss die Information über die Größe des zu hebenden Objektes zur Verfügung stehen. Diese Größeninformation ist der Cue für den Abruf von Weltwissen über das Gewichtsobjekt. In der Initialphase des Hebevorganges steht hiernach Information über vergleichbar große Objekte aus dem Langzeitgedächtnis zur Verfügung.

Die von Ellis und Lederman (1998) berichtete Golfballtäuschung veranschaulicht den Einfluss von Wissen auf die Gewichtswahrnehmung in besonders prägnanter Weise. Offenbar spielen Vergleichsprozesse im Arbeitsgedächtnis, wie sie im Kawai-Modell beschrieben werden, bei der Gewichtseinschätzung von Objekten eine Rolle – unabhängig davon, ob sie auf einer unmittelbar vorausgehenden Wahrnehmung oder auf dem Abruf von Wissen aus dem Langzeitgedächtnis beruhen. Die Beeinflussung der Einschätzung des Objektgewichts durch die wissensbasierte Vorstellung von der Objektgröße erfolgt jedoch nur unter bestimmten, zur Zeit noch nicht hinreichend untersuchten Bedingungen. So zeigte sich in dem Experiment von Masin und Crestoni (1988), dass die bloße Erinnerung an die visuell wahrgenommene Größe eines in Bezug auf sein Gewicht einzuschätzendes Objekt nicht ausreicht, um eine Größengewichtstäuschung hervorzurufen.

Zu diesen Bedingungen gehört wohl die *Eindringlichkeit* der mentalen perzeptuellen oder imaginalen Größenrepräsentation. Die Bedeutung dieses Faktors für das Zustandekommen der Größengewichtstäuschung belegen die Ergebnisse der Experimente von Heineken und Schulte (2007a, 2007b) in einer Virtual Reality-Anordnung. Die Autoren variierten Aspekte ihrer Anordnungen, von denen bekannt ist, dass sie einen Einfluss auf das Presence-Erleben und somit auf die Eindringlichkeit von Wahrnehmungen aus der virtuellen Realität haben (vgl. Steuer, 1992; Draper & Blair, 1996; Ijsselstein et al., 2000). Wie schon berichtet, wurden in ihren Experimenten die Größe der Gewichtsobjekte ausschließlich visuell im VR-Teil ihrer Anordnungen vermittelt und unterlag damit dieser Variation der Eindringlichkeit, während die haptische Gewichtsinformation immer aus der realen Umgebung

stammte<sup>18</sup>. Die Befunde zeigen, dass die Größengewichtstäuschung in einer Virtual Reality, in der ein Head-Mounted-Display als Anzeigegerät eingesetzt wurde (HMD-VR), stärker als in einer Virtual Reality-Anordnung war, in der die visuellen Reize auf einem Monitor präsentiert wurden (Desktop-VR). Bekannt ist, dass sich diese beiden virtuellen Realitäten im Grad der Presence unterscheiden, die in ihnen erlebt wird. Die Wahrnehmung der Objektgröße ist in der HMD-VR deutlich eindringlicher als in der Desktop-VR. Unter der HMD-VR-Bedingung kam es zu einer Informationsintegration von visuell vermittelter Objektgrößeninformation und haptisch vermittelter Objektgewichtsinformation in ähnlichem Umfang wie unter der Bedingung, unter der die Größe der Gewichtsojekte ausschließlich in der natürlichen Realität wahrgenommen werden konnte.

Diese Ergebnisse decken sich mit den theoretischen Überlegungen von Welch und Warren (1980; vgl. Cross & Rotkin, 1975). Die Autoren sehen in einer *Assumption of Unity* die notwendige Voraussetzung für das Zustandekommen einer intersensoriellen Beeinflussung heterosensorischer distaler Ereignisse: Erst wenn der Beobachter Informationen aus unterschiedlichen Sinneskanälen (gesehene oder gefühlte Größe des Objektes, gefühltes Gewicht des Objektes) einem einzigen distalen Objekt zuordnen kann, kommt es zur Informationsintegration und somit zur Täuschung. Je stärker diese Assumption of Unity ist, desto größer darf die Diskrepanz zwischen Informationen in den verschiedenen sensorischen Modalitäten sein, um noch zu einem Perzept integriert zu werden.

Die Ausprägung dieser „Annahme einer distalen Quelle multipler sensorischer Informationen“ hängt nach Welch und Warren vom Grad der Eindringlichkeit der Wahrnehmungen ab. So ist das Betrachten des eigenen ruhenden Fingers durch ein Prisma, das die visuell wahrgenommene Position des Fingers verschiebt und so einen Versatz zur haptisch wahrgenommenen Position des Fingers erzeugt (vgl. Hay, Pick &

---

<sup>18</sup> Wie schon berichtet, stand den Versuchsteilnehmern in der Anordnung von Heineken und Schulte (2007a, 2007b) keine haptisch vermittelte Objektgrößeninformation zur Verfügung.

Ikedo, 1965), eine eindringliche Situation, weil viel Information über das betrachtete Objekt in den beiden beteiligten Modalitäten Vision und Haptik identisch ist (zum Beispiel Größe, Form und Ausrichtung, raumzeitliche Veränderungen). Auch kann sich der Beobachter des eigenen Finger daran erinnern, dass normalerweise die haptisch und die visuell vermittelte Information über die Position der eigenen Hand übereinstimmen. Daher werden die wahrgenommene haptische und die wahrgenommene visuelle Information einem Objekt (dem eigenen Finger) zugeordnet. Wenn die Positionsinformation in den beiden Modalitäten aufgrund des Prismas voneinander abweicht, wird die visuelle Information über die Position des Finger die saliente Information: Der Finger wird dann als an der durch den visuellen Sinneskanal vermittelten Position befindlich erlebt. Ist die Diskrepanz zwischen den beiden Informationen jedoch zu groß, so wird die andere Information nicht mehr integriert, und es kommt zu keiner Beeinflussung.

In den Experimenten von Heineken und Schulte war es also offenbar unter HMD-Bedingungen, die ein hohes Maß an Presence erzeugen, den Versuchsteilnehmern möglich, die gesehene Objektgrößeninformation dem selben Objekt zuzuordnen wie die haptisch wahrgenommenen Objektgewichtsinformation; dann war eine Informationsintegration möglich, und die wahrgenommene Größeninformation beeinflusste die Wahrnehmung der Gewichtsinformation. Unter den wenig Presence-induzierenden Bedingungen der Desktop-VR dagegen war diese Zuordnung der verschiedenen Informationen zu einer distalen Quelle offenbar gar nicht oder nur in verringertem Umfang möglich.

Ebenso scheint es, dass Masin und Chrestoni (1988) offenbar keine eindringliche Vorstellung der Größe der Objekte beim Heben in der Vorstellung ihrer Versuchsteilnehmer generiert haben, wenn diese zuerst die Größe der Gewichtobjekte wahrnehmen konnten, diese aber erst danach ohne Ansicht auf die Objekte heben durften. Unter diesen Bedingungen konnten die Versuchsteilnehmer offenbar keinen Zusammenhang zwischen Gewicht und Objektgröße herstellen, und



es kam zu keiner Größengewichtstäuschung. Neben der Eindringlichkeit der mentalen Repräsentationen spielt damit ein weiterer Faktor bei der intersensoriellen Informationsintegration eine Rolle: Die *zeitliche Synchronisation* bei der Darbietung der täuschungserleidenden und täuschungsinduzierenden Wahrnehmungsgrößen. Belege hierfür haben Heineken und Schulte (2007a, 2007b) in ihren VR-Experimenten erbracht: Die Ausprägung der Größengewichtstäuschung nimmt ab, wenn die zeitliche Synchronizität von Heben des Gewichtes und visueller Darbietung des Objektes auf dem Display gestört ist. Je stärker die Darbietung des Objektes auf dem Display verzögert wird, desto weniger ausgeprägt ist die Täuschung.

Wie die Experimente von Heineken und Schulte (2007a, 2007b) aber auch von Kawai et al. (2007), Streit, Shockley und Reiley (2007), Metcalfe (2007) oder Oppermann (2008) gezeigt haben, lassen sich in Virtual Reality-Anordnungen Merkmale der täuschungsinduzierenden visuellen Gegebenheiten systematisch variieren, die sich in der natürlichen Realität bei der Erforschung intersensorieller Täuschungsphänomene kaum kontrollieren ließen (vgl. Bente, Krämer & Petersen, 2002; Gaglioli, 2001). Für die weitere Erforschung der intersensoriellen Informationsintegration bietet die Virtual Reality-Technologie somit vielversprechende Möglichkeiten.

## Literaturverzeichnis

- Amazeen, E.L. & Turvey, M.T. (1996). Weight perception and the haptic size-weight illusions are functions of inertia tensor. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22 (1), 213-232.
- Anderson, N.H. (1970a). Averaging model applied to the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 8, 1-4.
- Anderson, N.H. (1970b). Functional measurement and psychophysical judgement. *Psychological Review*, 77 (3), 153-170.
- Bell, C. (1826). On the nervous circle which connects the voluntary muscles with the brain. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 116, 163-173.
- Bente, G., Krämer, N.C. & Petersen, A. (2002). Virtuelle Realität als Gegenstand und Methode in der Psychologie. In G. Bente, N.C. Krämer & A. Petersen (Hrsg.), *Virtuelle Realitäten* (S. 1-32). Göttingen: Hogrefe.
- Berkeley, G. (1709). *An essay towards a new theory of vision*. Dublin: printed by Aaron Rhames for Jeremy Pepyal.
- Bertelson P. & de Gelder, B. (2004). The psychology of multimodal perception. In C. Spence & J. Driver (Eds.), *Crossmodal space and crossmodal attention* (pp. 141-177). Oxford: University Press.
- Biocca, F., Kim, J. & Choi, J. (2001). Visual Touch in virtual environments: An exploratory study of presence, multi-modal interfaces, and cross-modal sensory illusions. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10 (3), 247-265.
- Bolanowski, S. J., Jr., Zwislocki, J. J. & Gescheider, G. A. (1991). Intersensory generality of psychological units. In S. J. Bolanowski, Jr. & G. A. Gescheider (Eds.), *Ratio scaling of psychological magnitude: In honor of the memory of S. S. Stevens* (pp. 277-293). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Borg, G., Olson, M.J., Borg, E. & Neely, G. (1996). LIME – Level-anchored intersubjective ME. In S.C. Masin (Ed.), *Fechner Day 96* (S. 215-220). Padua: University of Padua, International society of psychophysics.

- Brenner E. & Smeets, J.B.J. (1996). Size illusion influences how we lift but not how we grasp an object. *Experimental Brain Research*, 111, 473-476.
- Brodie, E.E. (1988). Sex and hand-preference effects in the simultaneous and consecutive discrimination of lifted weight. *Perception Psychophysics*, 43, 326-330.
- Brodie, E.E. & Ross, H.E. (1984). Sensorimotor mechanism in weight discrimination. *Perception & Psychophysics*, 36, 477-481.
- Calvert, G. (2001). Crossmodal Processing in the Human Brain: Insights from Functional Neuroimaging Studies. *Cerebral Cortex*, 11, 1110-1123.
- Carpentier, A. (1891). Analyse experimentale de quelques elements de la sensation de poids. *Archives de Physiologie Normales et Pathologiques*, 13, 122 – 135.
- Claparède, E. (1902). Expériences sur la vitesse de soulèvement des poids de volumes différents. *Archives de Psychologie*, 1, 69-94.
- Cross, D.V. & Rotkin, L. (1975). The relation between size and apparent heaviness. *Perception & Psychophysics*, 18, 79-87.
- Davids, C.M. & Brickett, P. (1977). The role of preparatory muscular tension in the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 22, 262-264.
- Davids, C.M. & Roberts, W. (1976). Lifting movements in the size-weight-illusion. *Perception & Psychophysics*, 20, 33-36.
- De Camp, J.E. (1917). The influence of color on apparent weight. A preliminary study. *Journal of Experimental Psychology*, 2, 347 – 370.
- De Vignemont, D., Ehrsson, H.H. & Haggard, P. (2005). Bodily illusions mulate tactile perception. *Current Biology*, 15, 1286-1290.
- Dufour, M. (1916). Augustin Carpentier (1852-1916). *Anale D'Oculistique*, 43, 505-519.
- Draper, J. V. & Blair, L. M. (1996). Workload, flow, and telepresence during teleoperation. *Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2 (pp. 1030-1035). Minneapolis, MN: IEEE Robotics and Automation Society.
- Dresslar, F.B. (1894). Studies in the psychology of touch. *American Journal of Psychology*, 6, 313-368.

- Ellis, R.R. & Lederman, S.J. (1993). The role of haptic versus visual volume cues in the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 53 (3), 315-324.
- Ellis, R.R. & Lederman, S.J. (1998). The golf-ball illusion: evidence for top-down processing in weight perception. *Perception*, 27, 193-210.
- Ellis, R.R. & Lederman, S.J. (1999). The material-weight illusion revisited. *Perception & Psychophysics*, 61 (8), 1564-1576.
- Engen, T. (1971). Psychophysics: Discrimination and detection. In J.W. Kling & L.A. Riggs (Eds.), *Woodworth and Schlosberg's experimental psychology*, 3rd ed. (pp. 11-46). New York: Holt, Rhinehart & Winston.
- Ernst, M.O. (2009). Perceptual learning: Inverting the Size-Weight Illusion. *Current Biology*, 19 (1), R23-R25.
- Ferrier, D. (1886). *The functions of the brain* (2nd. Ed.). New York: Putnam.
- Flanagan, J.R. & Bandomir, C. (2000). Coming to grips with weight perception: effects of grasp configuration on weight judgements. *Perception & Psychophysics*, 62 (6), 1204-1219.
- Flanagan, J.R. & Beltzner, M.A. (2000). Independence of perceptual and sensorimotor predictions in the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 53, 315-324.
- Flanagan, J.R., King, S., Wolpert, D.M. & Johansson, R.S. (2001). Sensorimotor prediction and memory in object manipulation. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 55, 87-95.
- Flanagan, J.R., Bittner, J.P. & Johansson, R.S. (2008). Experience can change distinct size-weight priors engaged in lifting objects and judging their weights. *Current Biology*, 18, 1742-1747.
- Flournoy, T. (1894). De l'influence de la perception visuelle des corps sur leur poids apparent. *Annee Psychologique*, 1, 198-208.
- Gaglioli, A. (2001). Using virtual reality in experimental psychology. In G. Riva & C. Galimberti (Eds.), *Towards CyberPsychology: Mind, Cognitions and Society in the Internet Age* (pp. 157-174). Amsterdam: ISO Press.
- Gandevia, S.C. & McCloskey, D.I. (1977a). Sensation of heaviness. *Brain*, 100, 345-354.

- Gandevia, S.C. & McCloskey, D.I. (1977b). Changes in motor command as shown by changes in perceived heaviness, during partial curarization and peripheral anaesthesia in man. *Journal of Physiology*, 272, 673-689.
- Gelman, R., Durgin, F. & Kaufman, L. (1995). Distinguishing between animates and inanimates: Not by motion alone. In D. Sperber, D. Premack & A.J. Premack (Eds.), *Causal cognition: A multidisziplinary debate* (pp. 151-184). Oxford: Clarendon Press.
- Gescheider, G. A (1988). Psychophysical scaling. *Annual Review of Psychology*, 39, 169-200.
- Gilbert, J.A. (1894). Research on the mental and physical development of school-children. *Studies from the Yale Psychological Laboratory*, 2, 40-100.
- Gordon, A.M., Forssberg H., Johansson R.S. & Westling G. (1991). Visual size cues in the programming of manipulative forces during precision grip. *Experimental Brain Research*, 83, 477-482.
- Goodale, M.A. (1994). Visuomotor control: Where does vision end and action begin? *Current Biology*, 8, R489-R491.
- Gregory, R.L. & Ross, H.E. (1967). Arm weight, adaption and weight discrimination. *Perceptual and Motor Skills*, 24, 1127-1130.
- Guski, R. & Troje, N. (2003). Audiovisual phenomenal causality. *Perception & Psychophysics*, 65, 789-800.
- Haggard, P. (2005). Conscious intention and motor cognition. *Trends in Cognitive Science*, 9, 290-295.
- Harshfield, S.P. & DeHardt, D.C. (1970). Weight judgement as a function of apparent density of objects. *Psychonomic Science*, 20, 365-366.
- Hartmann, T., Böcking, S., Schramm, H., Wirth, W., Klimmt, C. & Vorderer, P. (2005). Räumliche Präsenz als Rezeptionsmodalität: Ein theoretisches Modell zur Entstehung von Präsenzerleben. In V. Gehrau, H. Bilandzic & J. Woelke (Hrsg.), *Rezeptionsstrategien und Rezeptionsmodalitäten* (S. 21-37). München: R. Fischer.
- Hay, J.C., Pick, H.L. & Ikeda, K. (1965). Visual capture produced by prism spectacles. *Psychonomic Science*, 2 (8), 215-216.

- Heineken, E. & Schulte, F.P. (2001). Acquiring Distance Knowledge in Virtual Environments. *RTO Meeting Proceedings: MP-058: What is essential for virtual reality systems to meet military human performance goals?* (17-1 – 17.5). Neuilly-Sur-Seine Cedex: Nato Research and Technology Organisation.
- Heineken, E. & Schulte, F.P. (2007a). Charakteristika des VR-Mediums als Determinanten der intermodalen Informationsintegration in einer hybriden Realität. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 19 (N.F. 7) 1, 14-22.
- Heineken, E. & Schulte, F.P. (2007b). Seeing size and feeling weight - the size-weight illusion in natural and virtual reality. *Human Factors*, 49 (1), 136-144.
- Helmholtz, H. von (1925). *Treatise on physiological optics* (Vol. 3, J.P.C. Southall, Ed. and Transl.). Menasha, WI: Optical Society of America. (Original publiziert 1866).
- Hendrix, C. & Barfield, W. (1996). Presence within Virtual Environments as a Function of Visual Display Parameters. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 5 (3), 274-289.
- Holmes, G. (1917). The symptoms of acute cerebellar injuries due to gunshot injuries. *Brain*, 40, 461-535.
- Holway, A.H. & Hurwich, L.M. (1937). On the discrimination of minimal differences in weight: 1. A theory of differential sensitivity. *Journal of Psychology*, 4, 309-332.
- Holway, A.H., Goldring, L.E. & Zigler, M.J. (1938). On the discrimination of minimal differences in weight: 4. Kinesthetic adaption for exposure intensity as variant. *Journal of Experimental Psychology*, 23, 536-544.
- Huang, I. (1945). The size-weight illusion and the "weight density illusion". *Journal of General Psychology*, 33, 65-84.
- Ijsselstein, W.A. (2004). *Presence in Depth*. Unveröffentlichte Dissertation. Eindhoven: University of Technology.
- Ijsselstein, W.A., de Ridder, H., Freeman, J. & Avons, S.E. (2000). Presence: Concept, determinants and measurement. *Proceedings of the SPIE, Human Vision and Electronic Imaging V*, (pp. 2959-76). San Jose, CA: Photonics West - Human Vision and Electronic Imaging V.

- James, T.W., Humphrey, G.K., Gati, J.S., Servos, P., Menon, R.S. & Goodale, M.A. (2002). Haptic study of 3D objects activates extrastriate visual area. *Neuropsychologia*, 40, 1706 – 1714.
- Jeannerod, M. (2003). Agency and Self-Awareness. In J. Roessler & N. Eilan (Eds.), *Issues in Philosophy and Psychology* (pp. 128-149). Oxford: Oxford University Press.
- Jones, L.A. (1986). The perception of force and weight : Theory and Research. *Psychological Bulletin*, 100 (1), 29-42.
- Jones, L.A. & Hunter, I.W. (1983). Effect of fatigue on force sensation. *Experimental Neurology*, 81, 640-650.
- Kawai, S., Henigman, F., MacKenzie, C.L., Kuang, A.B. & Faust, P.H. (2007). A reexamination of the size-weight illusion induced by visual size cues. *Experimental Brain Research*, 179, 443-456.
- Kawai, S., Summers, V.A., MacKenzie, C.L., Ivens, C.J. & Yamamoto, T. (2002). Grasping an augmented object to analyse manipulative force control. *Ergonomics*, 45, 1091-1102.
- Kilbreath, S.L. & Gandevia, S.C. (1991). Independent digit control: Failure to partition perceived heaviness of weights lifted by digits of the human hand. *Journal of Physiology*, 472, 537-556.
- Kinoshita, H., Bäckström, L., Flanagan, J.R. & Johansson, R.S. (1997). Tangential torque effects on grip force during precision grip. *Journal of Neurophysiology*, 78, 1619-1630.
- Krech, D., Crutchfield, R.S. & Livson, N. (1974). *Elements of Psychology*. New York: Knopf.
- Koseleff, P. (1957). Studies in the perception of heaviness. *Acta Psychologica*, 13, 242-252.
- Lederman, S.J. & Klatzky, R.L. (1987). Hand movements: a window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342 – 368.

- Lombard, M. & Ditton, T. (1997). At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-mediated Communication*, 3(2). [WWW-Dokument, verfügbar unter: <http://jcmc.indiana.edu/vol3/issue2/lombard.html>, zuletzt abgerufen am 17.6.2009]
- Loomis, H.N. (1907). Reaction to equal weights of unequal size. *Psychological Monographs*, 8, 334-348.
- Masin, S.C. & Crestoni, L. (1988). Experimental demonstration of the sensory basis of the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 44 (4), 309-312.
- Metcalfe, R.W. (2007). *The size-weight illusion in a natural and augmented environment with congruent and incongruent size information*. Unpublished Master's Thesis. Kanada: Simon Fraser University.
- Michotte, A. (1963). *The Perception of Causality*. New York: Basic Books.
- Mon-Williams, M. & Murray, A.H. (2000). The size of the visual size cue used for programming manipulative forces during precision grip. *Experimental Brain Research*, 135, 405-410.
- Müller, G. E., & Schumann, F. (1889). Über die psychologischen Grundlagen der Vergleichung gehobener Gewichte. *Archive für die Gesamte Physiologie*, 45, 37-112.
- Murray, D.J., Ellis, R.R., Bandomir, C.A & Ross, H.E. (1999). Carpentier (1891) on the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 61 (8), 1681 – 1685.
- Nicholas, S. (1998). Theodore Flournoy (1854 – 1920) and experimental psychology: Historical note. *American Journal of Psychology*, 111, 279-294.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologica*, 9, 97-113.
- Oppermann, J. (2008). *Einfluss visueller Merkmale einer Schraubenfeder auf die Beurteilung der haptisch vermittelten Federhärte: Laborexperimentelle Untersuchung in einer Virtual Reality Umgebung*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Duisburg und Essen: Universität Duisburg-Essen.



- Pavani, F., Spence, C. & Driver, J. (2000). Visual capture of touch: Out-of-the-body experiences with rubber gloves. *Psychological Science*, 11 (5), 353-359.
- Payne, M.C. (1958). Apparent weight as a function of color. *American Journal of Psychology*, 71, 725-730.
- Payne, M.C. (1961). Apparent weight as a function of hue. *American Journal of Psychology*, 74, 104-105.
- Pick, H.L. & Pick, A.D. (1967). A developmental and analytic study of the size-weight illusion. *Journal of Experimental Child Psychology*, 5, 362-371.
- Rabe, K., Brandauer, B., Li, Y., Gizewski, E. R., Timmann, D. & Hermsdörfer, J. (2009). Size-weight illusion, anticipation, and adaptation of fingertip forces in patients with cerebellar degeneration. *Journal of Neurophysiology*, 101 (2), 569-79.
- Rice J.F. (1898). The size-weight illusion among the blind. *American Psychological Association*, 27, 81-87.
- Robinson, H.B. (1964). An experimental examination of the size-weight illusion in young children. *Child Development*, 35, 91-107.
- Ross, J. (1969). When is weight not illusory? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 21, 346-355.
- Ross, H.E. (1981). How important are changes in body weight for mass perception. *Acta Astronautica*, 8, 1051-1058.
- Ross, H.E., Brodie, E. & Benson, A. (1984). Mass discrimination during prolonged weightlessness. *Science*, 225, 219-221.
- Ross, H.E. & Gregory, R.L. (1970). Weight illusions and weight discrimination – A revised hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 318-328.
- Ross, H.E. & Murray, D.J. (1996). *E.H. Weber on the Tactile Senses*. Hove: Erlbaum.
- Ross, H.E. & Reschke, M.F. (1982). Mass estimation and weight discrimination – a revised hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22, 318-328.
- Ross, J. & Di Lollo, V. (1970). Differences in heaviness in relation to density and weight. *Perception & Psychophysics*, 7, 161-162.

- Sarris, V. & Heineken, E. (1976). An experimental test of two mathematical models applied to the size-weight illusion. *Journal of Experimental Psychology*, 2 (2), 295-298.
- Sathian, K, Zangaladze, A, Hoffman, J.M. & Grafton, S.T. (1997). Feeling with the mind's eye. *Neuroreport*, 8, 3877 – 3881.
- Scholl, B.J. & Nakayama, K. (2002). Causal capture: Contextual effects on the perception of collision events. *Psychological Science*, 13 (6), 493-498.
- Scholl, B.J. & Tremoulet, P.D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in cognitive science*, 4 (8), 299-309.
- Schubert, T., Friedmann, F. & Regenbrecht, H. (2001). The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 10 (3), 266-281.
- Schuemie, M.J., van der Straaten, P., Krijn, M. & van der Mast, C.A.P.C (2001). Research on presence in virtual reality: A survey. *CyberPsychology & Behavior*, 8, 183-201.
- Scripture, E.W. (1897). The law of size-weight suggestion. *Science*, 5, 227.
- Seashore, C.E. (1895). Measurements of illusions and hallucinations in normal life. *Studies from the Yale Psychological Laboratory*, 3, 1-67.
- Shimojo, S. & Shams, L. (2001). Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 505-509.
- Sjöberg, L. (1969). Sensation scales in the size-weight-illusion. *Scandinavian Journal of Psychology*, 10, 109-112.
- Sheridan, T.B. (1996). Further Musings on the Psychophysics of Presence. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 5 (2), 241-246.
- Slater, M., Steed, A., McCarthy, J. & Maringelli, F. (1998). The influence of body movement on subjective presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 40 (3), 469-477.

- Snow, M.P. (1996). *Charting presence in virtual environments and its effects on performance*. Unveröffentlichte Dissertation, Virginia Polytechnical Institute and State University. [WWW-Dokument, verfügbar unter: [scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd19311417119623510/unrestricted/etd.pdf](http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd19311417119623510/unrestricted/etd.pdf), zuletzt abgerufen 22.5.2009]
- Snow, M. P. & Williges, R. C. (1998). Empirical models based on free-modulus magnitude estimation of perceived presence in virtual environments. *Human Factors*, 40, 386-402.
- Spence, C., Pavani, F. & Driver, J. (1998). What crossing the hands can reveal about visuotactile links in spatial attention. *Abstracts of the Psychonomic Society*, 3, 13.
- Stein, B. E. & Meredith, M. A. (1993). *The Merging of the Senses*. Cambridge: The MIT Press.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining presence. *Journal of Communication*, 42 (4), 73-93.
- Stevens, S.S. (1971). Issues in psychophysical scaling. *Psychological Review*, 78, 426-450.
- Stevens, S.S. (1975). *Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural and social prospects*. New York: Wiley.
- Stevens, S.S., & Rubin, L.L. (1970). Psychophysical scales of apparent heaviness and the size-weight illusion. *Perception & Psychophysics*, 8, 225-230.
- Summers, V.A. (1999). The virtual hand laboratory architecture. *Technical report 99-15*. Vancouver, B.C.: Department of Computer Science, University of British Columbia.
- Streit, M., Shockley, K. & Riley, M.A. (2007). Rotational inertia and multimodal heaviness perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 (5), 1001-1006.
- Streit, M., Shockley, K., Morris, A.W. & Riley, M.A. (2007). Rotational kinematics influence multimodal perception of heaviness. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 (2), 363-367.

- Teghtsoonian, R., Teghtsoonian, M. & Karlsson, J.G. (1981). The limits of perceived magnitude: Comparison among individuals and among perceptual continua. *Acta Psychologica*, 49, 83-94.
- Thouless, R.H. (1931). Phaenomenal regression to the real object. *British Journal of Psychology*, 22, 1-30.
- Usnadze, D. (1931). Concerning the size-weight illusion and its analogies. *Psychologische Forschung*, 14, 366-379.
- Verillo, R. T. (1991). Measurement of vibrotactile sensation magnitude. In S. J. Bolanowski Jr. & G. A. Gescheider (Eds.), *Ratio scaling of psychological magnitude: In honor of the memory of S. S. Stevens* (pp. 260-275). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Victor Raj, D., Ingty, K., & Devanandan, M.S. (1985). Weight appreciation in the hand in normal subjects and in patients with leprous neuropathology. *Brain*, 108, 95-102.
- Voss, M., Ingram, J.N., Haggard, P., & Wolpert, D.M. (2006). Sensorimotor attenuation by central motor command signals in the absence of movement. *Nature Neuroscience*, 9, 26-27.
- Waller, A.D. (1891). The sense of effort: An objective study. *Brain*, 14, 179-249.
- Weber, E.H. (1978). *The sense of touch* (H.E. Ross, Ed. And Trans.). London: Academic Press (Original publiziert im Jahr 1834).
- Welch, R.B., & Warren, D.H. (1980). Immediate perceptual response to inter-sensory discrepancy. *Psychological Bulletin*, 88 (3), 638-667.
- Welch, R.B. & Warren, D.H. (1986): Intersensory interactions. In K.R. Boff, L. Kaufman & J.P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance. Vol. 1.: Sensory processes and perception* (pp. 1-36). New York: Wiley.
- White, P.A. (1995). *The understanding of causation and the production of action*. Hove, East Sussex: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.

- Wirth, W., Hartmann, T., Böcking, S., Vorderer, P., Klimmt, C., Schramm, H., Saari, T., Laarni, J., Ravaja, N., Ribeiro Gouveia, F., Biocca, F., Sacau, A., Jäncke, L., Baumgartner, T. & Jäncke, P. (2007). A process model of the formation of spatial presence experiences. *Media Psychology*, 9 (3), 493-525.
- Witmer, B.G. & Singer, M.J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 7 (3), 225-240.
- Wolfe, H.K. (1898). Some effects of size on judgement of weight. *Psychological Review*, 5, 25-54.
- Zwislocki, J.J. (1983). Group and individual relations between sensation magnitude and their numerical estimates. *Perception & Psychophysics*, 33, 460-468.
- Zwislocki, J. J., & Goodman, D. A. (1980). Absolute scaling of sensory magnitudes: A validation. *Perception & Psychophysics*, 28, 28-38.

## **Anhang**

Anhang A1: Instruktionstext

Anhang A2: Daten

## **Anhang A1: Instruktionen**

Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit nehmen, uns bei unseren Forschungsarbeiten zu helfen. In diesem Experiment wollen wir untersuchen, welche Bedingungen einen Einfluss auf die Beurteilung von Gewichten haben. Dazu möchten wir Sie bitten, eine Reihe von Kugeln hinsichtlich ihres Gewichtes einzuschätzen.

Hierzu möchte ich Ihnen zunächst unser Einschätzungsverfahren an einem Beispiel verdeutlichen. Ich werde Ihnen nun eine Reihe von Linien zeigen. Bitte schätzen Sie die diese hinsichtlich ihrer Länge ein. Dazu geben Sie der ersten Linie einen beliebigen positiven Wert. Wenn eine der folgenden Linien dreimal so lang wie diese erste Linie erscheint, muss der Wert, den Sie dieser Linie zuweisen, auch dreimal so hoch sein wie der Wert, den Sie der ersten Linie zugewiesen haben. Wenn eine der folgenden Linien nur ein Fünftel so lang wie die erste Linie erscheint, so darf der Wert dementsprechend auch nur ein Fünftel des Wertes des ersten Linie haben. Sie können als Werte ganze positive Zahlen, Brüche, oder Dezimalzahlen verwenden.

<Beispiel 1 durchgehen>

Es gibt kein Richtig und kein Falsch, sondern nur ihre Einschätzung. Wichtig ist aber, dass die Werte das Verhältnis zwischen dem aktuellen Objekt und dem ersten eingeschätzten Objekt widerspiegeln, so wie sie es wahrnehmen.

Soll ich Ihnen das Einschätzungsverfahren an einem weiteren Beispiel erklären?

<evtl. Beispiel 2 durchgehen>

*Jetzt zu unserem eigentlichen Experiment:*

Wie schon gesagt, haben Sie hier die Aufgabe, Kugeln hinsichtlich ihres Gewichtes einzuschätzen, indem sie ihnen wie im Beispiel Zahlenwerte zuordnen. Die Kugeln, die wir in unserem Experiment benutzen, unterscheiden sich in einigen Merkmalen. Den Zahlenwert für die erste Kugel können Sie wieder selber wählen. Den darauf folgenden Kugeln weisen Sie bitte Werte zu, die das Gewichtsverhältnis zwischen der jeweiligen Kugel und der ersten Kugel widerspiegeln. Auch hier können Sie als Werte ganze positive Zahlen, Brüche, oder Dezimalzahlen verwenden.

*Unsere Versuchsanordnung*

Der Versuch wird ungefähr 10 Minuten dauern. Sie werden insgesamt 30 Kugeln nacheinander einschätzen. Dies sollte wie folgt ablaufen:

Bitte strecken Sie Ihre rechte Hand mit der Handfläche nach oben aus, wobei der Ellenbogen nach unten zeigt, der Oberarm am Körper anliegt und Ober- und Unterarm einen rechten Winkel bilden. Ich werde Ihnen dann nacheinander die Kugeln geben, damit Sie diese hinsichtlich ihres Gewichtes einschätzen. Dazu werde ich Ihnen die Kugeln einzeln in die Hand auf diesen Ring legen.



*Dann: Wenn **mit visueller** und **mit haptischer** Kugelgrößeninformation:*

Die Kugeln verbleiben dann ca. 3 Sekunden in Ihrer Hand.

Bitte schauen Sie die Kugeln während dieser Zeit an.

Bitte schließen Sie Ihre Finger während dieser Zeit um die Kugeln.

*Oder: Wenn **ohne haptische** und **mit visueller** Kugelgrößeninformation:*

Die Kugeln verbleiben dann ca. 3 Sekunden in Ihrer Hand.

Bitte schauen Sie die Kugeln während dieser Zeit an.

Bitte schließen Sie Ihre Finger während dieser Zeit NICHT um die Kugeln.

*Oder: Wenn **mit haptischer** und **ohne visuelle** Kugelgrößeninformation:*

Die Kugeln verbleiben dann ca. 3 Sekunden in Ihrer Hand.

Bitte schauen Sie die Kugeln während dieser Zeit NICHT an.

Bitte schließen Sie Ihre Finger während dieser Zeit um die Kugeln.

*Oder: Wenn **ohne haptische** und **ohne visuelle** Kugelgrößeninformation:*

Die Kugeln verbleiben dann ca. 3 Sekunden in Ihrer Hand.

Bitte schauen Sie die Kugeln während dieser Zeit NICHT an.

Bitte schließen Sie Ihre Finger während dieser Zeit NICHT um die Kugeln.

Danach werde ich Ihnen die Kugel abnehmen. Geben Sie dann bitte unverzüglich Ihre Einschätzung des Gewichtes der Kugel ab. Ich werde Ihnen dann eine neue Kugel in Ihre nach oben gerichtete Handfläche legen.

## **Anhang A2: Daten**

Rohdaten und vorverarbeitete Daten im Format des Statistikprogramms SPSS  
(Version 17) auf CD-ROM.